

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE
AGUA DE ENFRIAMIENTO PROVENIENTE DEL LABORATORIO DE
PROCESOS EN LA ESCUELA DE QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

PRESENTADO POR:

MANUEL ALBERTO CASTAÑEDA BASTO

COD: 9861601

**Propuesta de proyecto de grado para obtener el título de
Ingeniero Mecánico**

PRESENTADO A



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

OCTUBRE DE 2015

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE
AGUA DE ENFRIAMIENTO PROVENIENTE DEL LABORATORIO DE
PROCESOS EN LA ESCUELA DE QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

MANUEL ALBERTO CASTAÑEDA BASTO

COD: 9861601

**Propuesta de proyecto de grado para obtener el título de
Ingeniero Mecánico**

DIRECTOR DEL PROYECTO

DR. JORGE ALBA MENDOZA

DOCENTE ESCUELA DE QUÍMICA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

TABLA DE CONTENIDO

1.	OBJETIVOS.....	2
1.1.	OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
2.	IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS QUE SERÁN SUJETOS A LA RECUPERACIÓN DE AGUA	3
2.1.	SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS.....	3
2.2.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS A INTERVENIR	4
2.2.1.	Purificador de agua por ósmosis inversa:.....	4
2.2.2.	Unidad de destilación multipropósito:	4
2.2.3.	Unidad evaporador de doble efecto:.....	5
2.2.4.	Unidad de extracción soxhlet:.....	6
3.	RECOLECCIÓN DE DATOS TÉCNICOS.....	7
3.1.	DETERMINACIÓN DEL CAUDAL Y PRESIÓN DE AGUA CAPTADA POR EQUIPO.....	7
3.1.1.	Descripción de la conformación del sistema existente	7
3.1.2.	Determinación del Caudal por equipo.....	7
3.1.3.	Determinación de la presión	10
3.2.	DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN TOTAL POR PRÁCTICA.....	10
4.	ALTERNATIVAS PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA	11
4.1.	PLANTEAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVAS	11
4.1.1.	Alternativa nº1	13
4.1.2.	Alternativa nº2	14
4.1.3.	Alternativa Nº3.....	15
4.2.	PRESUPUESTO ESTIMADO POR ALTERNATIVA.....	16
4.2.1.	Presupuesto estimado Alternativa nº1	16
4.2.2.	Presupuesto estimado Alternativa nº2	17
4.2.3.	Presupuesto estimado Alternativa nº3.....	19
4.3.	EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS.....	21
5.	DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA....	22
5.1.	PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO.	22

5.1.1.	Ecuaciones de diseño.....	22
5.1.2.	Sistema hidroneumático	23
5.1.3.	Sistemas de control	24
5.1.3.1.	Sistema de control de nivel en tanques.....	24
5.1.4.	Válvulas	24
5.2.	DISEÑO DE LA RED DE CONDUCCIÓN DE AGUA A RECUPERAR.....	25
5.2.1.	Descripción de la conformación del sistema.....	25
5.2.2.	Parámetros del material y fluido de trabajo	26
5.2.3.	Cálculo del diámetro mínimo	26
5.2.4.	Cálculo de la velocidad y el número de Reynolds con el diámetro real.	28
5.2.5.	Cálculo de pérdidas menores por accesorios.....	28
5.2.5.1.	Cálculo del factor de fricción:	30
5.2.6.	Cálculo de pérdidas en tubería por fricción	31
5.2.7.	Cálculo de la presión requerida para alimentar el tanque de almacenamiento.	32
5.2.8.	Especificaciones de la tubería de conducción	34
5.3.	DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	36
5.4.	DISEÑO DEL SISTEMA HIDRONEUMÁTICO.....	37
5.4.1.	Descripción de la conformación del sistema de bombeo.....	37
5.4.2.	Cálculo de la presión requerida en el punto de entrega	38
5.4.2.1.	Cálculo de la presión requerida para los tramos 4-5 y 5-3	38
5.4.2.2.	Cálculo de la presión requerida para los tramos 4-5 y 5-3	40
5.4.2.3.	Cálculo de la presión requerida para el tramos 6-3.....	41
5.4.3.	Cálculo de potencia requerida por el sistema	42
5.4.4.	Cálculo de potencia efectiva de la bomba	43
5.4.5.	Selección de la bomba	44
5.4.6.	Especificaciones del sistema de bombeo	45
5.4.7.	Cálculo del tanque hidroneumático.....	46
5.4.8.	Selección del sistema hidroneumático.....	48
5.4.9.	Especificaciones generales del sistema hidroneumático.....	51

5.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	52
5.5.1. Componentes del sistema	52
5.5.2. Descripción de la conformacion del sistema.....	53
6. SIMULACIÓN HIDRÁULICA ASISTIDA POR COMPUTADOR	55
6.1. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO	55
6.1.1. Características principales de Epanet:.....	55
6.1.2. Componentes físicos	55
6.1.3. Componentes no físicos	57
6.2. SIMULACIÓN DEL SISTEMA EXISTENTE	58
6.2.1. Simulación del sistema existente en periodo simple.....	58
6.3. SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN	67
6.3.1. Descripción de la simulación implementada al sistema.....	67
6.3.2. Características de los componentes del sistema.....	67
6.3.3. Datos obtenidos del programa.....	75
6.3.3.1. Análisis de los resultados a las 0.00 horas de la simulación	75
6.3.3.2. Análisis de los resultados a las 4.00 horas de la simulación	79
7. CONCLUSIONES	84
8. RECOMENDACIONES	85
BIBLIOGRAFÍA.....	86
ANEXOS.....	88

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.	Localización de los laboratorios a intervenir.....	3
Figura 2.	Unidad de purificación de agua por ósmosis inversa	4
Figura 3.	Unidad de destilación multipropósito.....	5
Figura 4.	Evaporador de doble efecto	5
Figura 5.	Unidad de extracción soxhlet	6
Figura 6.	Localización de los puntos de entrega del agua desechada.	7
Figura 7.	Esquema de funcionamiento Alternativa nº1	13
Figura 8.	Esquema de funcionamiento Alternativa nº2.....	14
Figura 9.	Esquema de funcionamiento Alternativa nº3.....	15
Figura 10.	Esquema de funcionamiento de un sistema hidroneumático.	24
Figura 11.	Conformación de la red de conducción de agua a recuperar.	25
Figura 12.	Esquema de funcionamiento del sistema.....	32
Figura 13.	Redes que componen la conducción.	34
Figura 14.	Dimensionamiento del tanque de almacenamiento.....	36
Figura 15.	Esquema de funcionamiento del sistema de bombeo	37
Figura 16.	Localización de la red existente y punto de entrega.....	38
Figura 17.	Bomba de rodete periférico	44
Figura 18.	Curva de operación de la bomba	45
Figura 19.	Tanque hidroneumático.....	48
Figura 20.	Sistema hidroneumático	49
Figura 21.	Dimensiones del equipo seleccionado	50
Figura 22.	Diagrama de flujo para el encendido de la bomba	53
Figura 23.	Componentes básicos del sistema implementado	54
Figura 24.	Componentes físicos del sistema.....	56
Figura 25.	Esquema de la red existente.	58
Figura 26.	Presiones y velocidades en la red con el extractor en funcionamiento.	59
Figura 27.	Presiones y velocidades en la red con el evaporador en funcionamiento.....	61

Figura 28. Presiones y velocidades en la red con el destilador en funcionamiento.	63
Figura 29. Presiones y velocidades en la red con todos los equipos en funcionamiento.	65
Figura 30. Esquema de conformación del sistema de recirculación.	68
Figura 31. Presiones (mca) y caudales (L/s) a las 0:00 horas.	75
Figura 32. Velocidades 0:00 horas	77
Figura 33. Presiones y caudales 4:00 horas	79
Figura 34. Gráfica de la evolución del nivel del tanque (Altura vs Tiempo)	80
Figura 35. Gráfica de evolución de la presión en los equipos de trabajo (Presión vs tiempo)	81
Figura 36. Velocidades 4:00 horas	82

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.	Toma de caudales del purificador por ósmosis	8
Tabla 2.	Toma de caudales equipo destilador.....	8
Tabla 3.	Toma de caudales equipo de evaporador	8
Tabla 4.	Toma de caudales equipo extractor Soxhlet	9
Tabla 5.	Cálculo de los volúmenes de agua desechada.	10
Tabla 6.	Cálculo del diámetro mínimo de tubería por tramos.....	27
Tabla 7.	Coeficientes de pérdidas para diferentes accesorios	28
Tabla 8.	Cálculo de accesorios y de coeficientes de pérdidas tramo 1-2.....	29
Tabla 9.	Cálculo de accesorios y de coeficientes de pérdidas tramo 4-2.....	29
Tabla 10.	Cálculo de accesorios y de coeficientes de pérdidas tramo 2-3.....	29
Tabla 11.	Cuadro de cálculo de las pérdidas menores en accesorios	30
Tabla 12.	Cuadro de cálculo del factor de fricción.	31
Tabla 13.	Cuadro de cálculo de pérdidas en la tubería por fricción	31
Tabla 14.	Cuadro de pérdidas totales en la red.	32
Tabla 15.	Cuadro comparativo de la presión disponible en el equipo y la presión requerida.	34
Tabla 16.	Dimensionamiento del tanque de almacenamiento.....	36
Tabla 17.	Cuadro de cálculo de los coeficientes de pérdidas menores en accesorios tramo 4-5.....	39
Tabla 18.	Cuadro de cálculo de los coeficientes de pérdidas menores en accesorios tramo 5-3.....	39
Tabla 19.	Cuadro de pérdidas totales en los tramos.5-4 y 5-3 (tubería HG existente)	39
Tabla 20.	Cuadro de pérdidas totales en los tramos.5-4 y 5-3 (Tubería nueva PVC)	40
Tabla 21.	Cuadro de cálculo de los coeficientes de pérdidas menores en accesorios tramo 6-3.....	41
Tabla 22.	Cuadro de pérdidas totales en los tramos.7-6 y 6-3 (tubería existente, Hierro Galvanizado)	41
Tabla 23.	Cuadro de cálculo de los coeficientes de pérdidas menores en accesorios en succión e impulsión	42
Tabla 24.	Cuadro de pérdidas totales en succión e impulsión	43

Tabla 25.	Especificación técnicas del equipo.....	49
Tabla 26.	Resultados en los nodos y en las líneas con el extractor en funcionamiento.	59
Tabla 27.	Resultados en los Nodos y en las líneas con el evaporador en funcionamiento.	61
Tabla 28.	Resultados en los Nodos y en las líneas con el destilador en funcionamiento.	63
Tabla 29.	Resultados en los Nodos y en las líneas con todos los equipos en funcionamiento.	65
Tabla 30.	Cuadro de componentes del sistema.....	68
Tabla 31.	Estado de los Nodos de la Red a las 0:00 Horas:	76
Tabla 32.	Estado de las Líneas de la Red a las 0:00 Horas.....	78
Tabla 33.	Estado de los Nodos de la Red a las 4:00 Horas	80
Tabla 34.	Estado de las Líneas de la Red a las 4:00 Horas.....	82

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A. Tablas.....	88
ANEXO B. Memorias de cálculo.....	92
ANEXO C. Ficheros de datos de entrada para el programa EPANET	109
ANEXO D. Cantidades de obra y presupuestos.....	116
ANEXO E. Planos	118

TEXTO DEDICATORIA

Esta tesis la dedico especialmente a mis padres Alberto Castañeda y Ludy Basto, a mi hermana Karen Castañeda Basto y a mi esposa Sandra Johanna Castellanos Cardona por su presencia y apoyo incondicional; gracias por todos sus consejos, por concederme los recursos necesarios, y sobre todo, por animarme a culminar este proceso académico. Los quiero con toda mi alma. Dios los Bendiga siempre.

Manuel Alberto Castañeda Basto

AGRADECIMIENTOS

A mis Padres, hermana y familiares, puesto que ellos son mi motivo de inspiración para lograr mis sueños.

A todos nuestros profesores, por su apoyo incondicional en las etapas de este proceso de vida estudiantil, quienes me han impartido una excelente formación académica e integral.

Al docente Ingeniero Dr. Jorge Alba Mendoza por su orientación y participación como director de este proyecto.

Al docente Ingeniero Yamal Mustafa Iza por su asesoría en este proyecto.

A nuestros compañeros y amigos por su apoyo incondicional durante este proceso, porque me han alentado y apoyado en aquellos momentos difíciles.

A los Ingenieros Diego León Álzate Ospina y Fernando Pineda Arboleda por su apoyo y asesoría técnica en el desarrollo de este proyecto.

También agradezco a la Empresa AGUA XXI y a todo el equipo técnico, por su apoyo incondicional en el desarrollo del presente trabajo.

Por último agradezco a la Universidad Tecnológica de Pereira por haberme permitido hacer parte de esta prestigiosa institución y por haberme prestado sus servicios.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el agua es considerada un recurso vital y limitado que debe administrarse de manera racional, ya que su abastecimiento condiciona el desarrollo de las actividades humanas.

El alto consumo y el mal uso del agua, se ha convertido en un gran problema ambiental, lo que ha llevado a las Autoridades Ambientales a crear normas para el uso eficiente y ahorro del agua, de esta forma se busca que se optimice el volumen empleado y disminuya el vertimiento de aguas a los sistemas de desagüe, y así, reducir el impacto ambiental.

Ante dicha problemática, se ha generado la necesidad de una búsqueda de alternativas de optimización y desarrollo ambiental. Como resultado a lo anterior se ha venido implementando el uso de sistemas de recuperación de agua para ser aprovechada nuevamente en otras tareas.

La recuperación de agua es un tema que pasa, no sólo por la importancia ambiental de reducir la contaminación de fuentes superficiales, sino también por la consideración económica, ya que un adecuado sistema de recuperación de agua genera ahorros en los costos de manejo y utilización de este recurso.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño y simulación hidráulica de un sistema de recuperación de agua de enfriamiento y sobrante, proveniente de los equipos de destilación, evaporación, extracción soxhlet, y purificación de agua por ósmosis inversa, utilizados en los laboratorios de Química de la Universidad Tecnológica de Pereira.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico del estado actual de los equipos sujetos a la recuperación de agua de enfriamiento, a partir del análisis del caudal de agua a recuperar, el volumen de almacenamiento y la presión necesaria por equipo.
- Diseñar un sistema automático de almacenamiento, bombeo y distribución de recuperación de agua de enfriamiento, a partir del planteamiento y análisis de alternativas.
- Realizar la simulación hidráulica del sistema de recirculación mediante el programa EPANET.
- Determinar las cantidades de obra y presupuestos necesarios para la implementación del diseño.

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS QUE SERÁN SUJETOS A LA RECUPERACIÓN DE AGUA

2.1. SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS

Los equipos sujetos a la recuperación de agua están ubicados en los laboratorios Q115 y Q113 de la Escuela de Tecnología Química de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Tal como se describe en la Figura 1, los equipos están distribuidos de la siguiente forma:

Laboratorio Q113:

- Purificador de agua por ósmosis inversa

Laboratorio Q115:

- Unidad de destilación multipropósito
- Unidad Evaporador de doble efecto
- Unidad de extracción soxhlet
- Generador de vapor



Figura 1. Localización de los laboratorios a intervenir

2.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS A INTERVENIR

2.2.1. Purificador de agua por ósmosis inversa:

El proceso de la ósmosis inversa utiliza una membrana semipermeable para separar y quitar los sólidos disueltos, en este proceso el agua es forzada a cruzar una membrana para dejar atrás las impurezas.

El agua que atraviesa la membrana es llamada agua de producto y además tiene un desperdicio del 60%. Este rechazo es de todas maneras requerido ya que ayuda a mantener la membrana limpia (LABORATORIO DE LA ESCUELA DE QUIMICA, 2012)



Figura 2. Unidad de purificación de agua por ósmosis inversa
Fuente: Laboratorio Q113 Escuela de Química (UTP)

2.2.2. Unidad de destilación multipropósito:

La destilación es uno de los más importantes procesos industriales para la separación de mezclas de líquidos. Como agente de separación se usa normalmente calor, el cual puede ser fácilmente adicionado o removido desde las mezclas de líquido y vapor (INDUSTRIAS QUIMICAS FIQ LTDA, 2005)



Figura 3. Unidad de destilación multipropósito
Fuente: Laboratorio de procesos Q115 Escuela de Química (UTP)

2.2.3. Unidad evaporador de doble efecto:

Unidad construida en acero inoxidable 304. Permite la concentración de soluciones operando en forma batch o continua usando la totalidad o algunas partes de la misma. Se pueden desarrollar prácticas de evaporación simple y evaporación de doble efecto (en paralelo o contracorriente con economía de vapor). La unidad está dotada de sensores que en la práctica permiten la adquisición de los datos necesarios para realizar balances de masa y energía, determinar los coeficientes de transferencia de calor en los intercambiadores y cuantificar la capacidad y economía de la unidad. (INDUSTRIAS QUIMICAS FIQ LTDA, 2003)



Figura 4. Evaporador de doble efecto
Fuente: Laboratorio de procesos Q115 Escuela de Química (UTP)

2.2.4. Unidad de extracción soxhlet:

Unidad construida en acero inoxidable 304. Permite obtener extractos. Con la unidad se pueden desarrollar prácticas de extracción y percolación. (INDUSTRIAS QUIMICAS FIQ LTDA, 2011)



Figura 5. Unidad de extracción soxhlet

Fuente: Laboratorio de procesos Q115 Escuela de Química (UTP)

3. RECOLECCIÓN DE DATOS TÉCNICOS

3.1. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL Y PRESIÓN DE AGUA CAPTADA POR EQUIPO

3.1.1. Descripción de la conformación del sistema existente

Actualmente el agua de rechazo y de enfriamiento son arrojados al sistema de aguas lluvias como se puede ver en la Figura 6

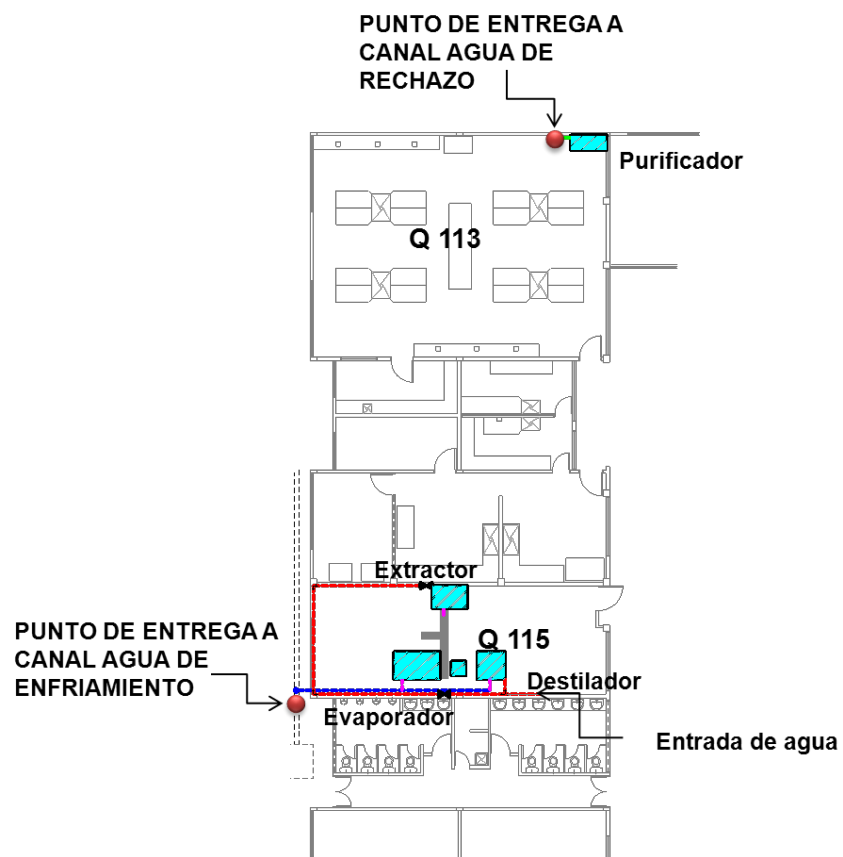


Figura 6. Localización de los puntos de entrega del agua desechada.

3.1.2. Determinación del Caudal por equipo

Para la determinar los volúmenes de agua a captar se hizo una toma de caudales por cada equipo mediante un aforo volumétrico, arrojando los siguientes resultados:

Tabla 1. Toma de caudales del purificador por ósmosis

TOMA	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)	CAUDAL (L/S)
1	24.15	0.2	0.0083
2	22.16	0.2	0.0090
3	23.6	0.2	0.0085
4	24.02	0.2	0.0083
5	24.03	0.2	0.0083
6	24.06	0.2	0.0083
7	23.64	0.2	0.0085
8	23.72	0.2	0.0084
9	23.95	0.2	0.0084
10	24.12	0.2	0.0083
PROMEDIO			0.0084

Tabla 2. Toma de caudales equipo destilador

TOMA	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)	CAUDAL (L/S)
1	13.880	2	0.144
2	13.660	2	0.146
3	13.620	2	0.147
4	13.200	2	0.152
5	12.880	2	0.155
6	9.660	2	0.207
7	9.590	2	0.209
8	9.660	2	0.207
9	9.610	2	0.208
10	11.700	2	0.171
PROMEDIO			0.175

Tabla 3. Toma de caudales equipo de evaporador

TOMA	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)	CAUDAL (L/S)
1	12.99	4	0.308
2	13.51	4	0.296
3	14.29	4	0.280

4	14.56	4	0.275
5	14.40	4	0.278
6	14.25	4	0.281
7	13.59	4	0.294
8	14.10	4	0.284
9	13.59	4	0.294
10	14.10	4	0.284
PROMEDIO			0.287

Tabla 4. Toma de caudales equipo extractor Soxhlet

TOMA	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)	CAUDAL (L/S)
1	15.9	1	0.063
2	16.01	1	0.062
3	15.24	1	0.066
4	14.22	1	0.070
5	13.75	1	0.073
6	13.95	1	0.072
7	13.75	1	0.073
8	13.88	1	0.072
9	13.84	1	0.072
10	14.04	1	0.071
PROMEDIO			0.069

De los caudales promediados se obtuvo los siguientes datos:

Purificador por ósmosis: 0.51 L/min

Destilador: 10.50 L/min

Evaporador: 17.24 L/min

Extractor Soxhlet: 4.16 L/min

Para un caudal total del sistema de: 32.41 L/min (0.54 L/s)

3.1.3. Determinación de la presión

Para determinar la presión necesaria por equipo, se realizó la toma de presiones a la entrada de cada uno, dando como resultado los siguientes datos:

Presión Máxima del sistema: 20 psi (14.06mca)

Presión Mínima del sistema: 18 psi (12.66mca)

La presión de salida de cada equipo es la siguiente:

Purificador: 10psi (7.0)

Destilador: 17psi (11.95m)

Evaporador: 16psi (11.25m)

Extractor soxhlet: 15psi (10.55m)

3.2. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN TOTAL POR PRÁCTICA

En la Tabla 5 se calcula el volumen máximo por práctica considerando un tiempo máximo de trabajo para los equipos de 4 horas.

Donde $Volumen = Q * T$

Tabla 5. Cálculo de los volúmenes de agua desechada.

TIEMPO (H)	VOLUMEN (Litros) PURIFICADOR	VOLUMEN (Litros) DESTILADOR	VOLUMEN (Litros) EVAPORADOR	VOLUMEN (Litros) SOXHLET	VOLUMEN TOTAL	
					Litros	m ³
1/4	7.59	157.53	258.59	62.46	486.41	0.5
1/2	15.17	315.06	517.17	124.91	972.81	1
1	30.34	630.12	1034.34	249.83	1945.62	2
2	60.68	1260.24	2068.68	499.65	3891.25	4
3	91.02	1890.35	3103.02	749.48	5836.87	6
4	121.36	2520.47	4137.37	999.30	7782.40	8

4. ALTERNATIVAS PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA

El proyecto para la recuperación de las aguas provenientes de los equipos de purificación por ósmosis inversa (agua sobrante), de destilación, evaporación y extracción (agua de enfriamiento), comprende principalmente el diseño, construcción y puesta en funcionamiento de un sistema de captación agua que es arrojada al sistema de desagüe de alcantarillado y recuperarla, siendo almacenada y luego utilizada para el proceso de enfriamiento.

El sistema está compuesto por cuatro equipos: un equipo de ósmosis inversa, que en su proceso de purificación, genera agua sobrante o de rechazo sin ninguna carga de contaminación; los otros tres equipos en su proceso utilizan agua de enfriamiento que es sometida a un aumento de temperatura y desechada sin ninguna carga contaminante, teniendo la posibilidad de ser reutilizada en el mismo proceso.

4.1. PLANTEAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVAS

El diseño debe contemplar los siguientes componentes:

Tiempo de enfriamiento: se contempla un tiempo de enfriamiento de un día, que es el intervalo mínimo de tiempo que transcurre entre práctica, por lo tanto el sistema de almacenamiento debe contener el volumen total captado durante una práctica, así se puede tener el agua recuperada en reposo durante este tiempo, en el cual alcanza la temperatura ambiente para ser utilizada nuevamente en el proceso de enfriamiento.

Almacenamiento: Un tanque ubicado en la parte más baja con capacidad para almacenar el volumen captado de agua sobrante de los procesos de cada equipo, esto durante el tiempo que dura una práctica.

Un tanque ubicado en una parte alta con capacidad de almacenar el agua bombeada desde el tanque bajo durante un periodo de tiempo.

Sistema de bombeo: Una bomba hidráulica de accionamiento automático de encendido y apagado, con capacidad de llevar este volumen almacenado en el tanque bajo, al tanque elevado.

Red hidráulica de conducción y distribución: Una red de tuberías encargadas conducir el agua que se va a recuperar de los equipos a un tanque de almacenamiento bajo.

Una red de bombeo para llevar el agua de un tanque bajo al tanque elevado. Red de distribución encargada de devolver el agua recuperada al sistema para ser utilizada nuevamente en usos de laboratorio.

Válvulas y accesorios: Se debe garantizar la operación y mantenimiento del sistema mediante válvulas y accesorios que optimicen el correcto funcionamiento.

Se plantean tres alternativas para la recuperación del agua sobrante proveniente del laboratorio Q113 y el agua de enfriamiento proveniente del laboratorio Q115 con las siguientes características:

4.1.1. Alternativa nº1

El diseño comprende un sistema de recuperación de agua mediante la recolección, almacenamiento y distribución de aguas de los dos laboratorios, un solo tanque de almacenamiento ubicado en un punto en común a nivel de piso, con la función de recolectar y almacenar el agua proveniente de cada laboratorio. El sistema también cuenta con una bomba con capacidad de impulsar el agua a un tanque de almacenamiento ubicado en la parte alta del laboratorio, donde será almacenada y luego distribuida.

Los principales componentes del sistema son:

- Un tanque de almacenamiento bajo
- Un tanque de almacenamiento elevado
- Una bomba sumergible sistema ON-OFF
- Red de agua sobrante
- Red de agua de enfriamiento
- Red de distribución
- Válvulas de corte
- Válvulas de cheque
- Válvula de control de nivel

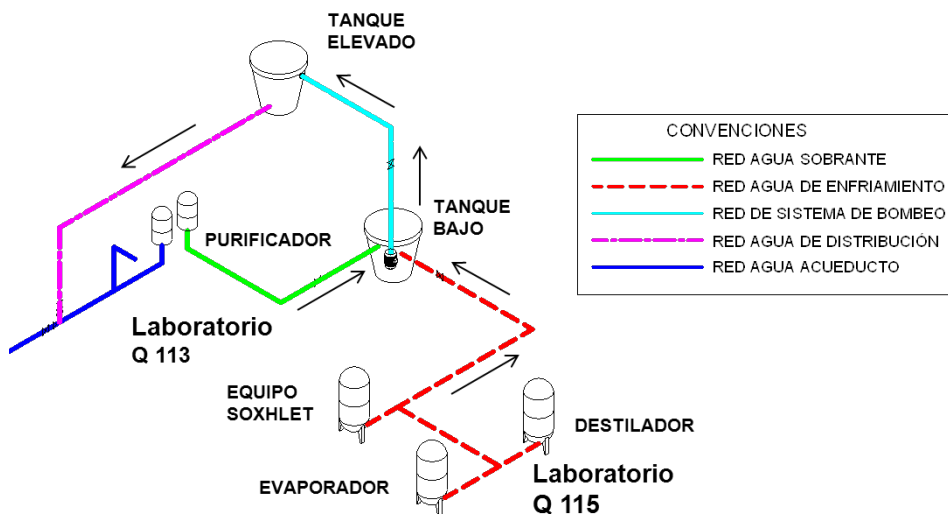


Figura 7. Esquema de funcionamiento Alternativa nº1

4.1.2. Alternativa nº2

La alternativa contempla la posibilidad de tener todos los equipos en un solo laboratorio, por ende trasladar el equipo purificador de agua ubicado actualmente en el laboratorio Q113 al laboratorio Q115.

El diseño comprende un sistema de recuperación de agua, mediante la recolección, almacenamiento y distribución, en un solo tanque de almacenamiento ubicado en el laboratorio Q115 a nivel de piso, con la función de recolectar y almacenar el agua proveniente de cada equipo. El sistema también cuenta con una bomba con capacidad de impulsar el agua a un tanque de almacenamiento ubicado en la parte alta del laboratorio, donde será almacenada y luego distribuida nuevamente en el sistema de entrada.

Los principales componentes del sistema son:

- Un tanque de almacenamiento bajo
- Un tanque de almacenamiento elevado
- Una bomba sumergible sistema ON-OFF
- Red de agua sobrante
- Red de agua de enfriamiento
- Red de distribución
- Válvulas de corte
- Válvulas de chequeo
- Válvula de control de nivel

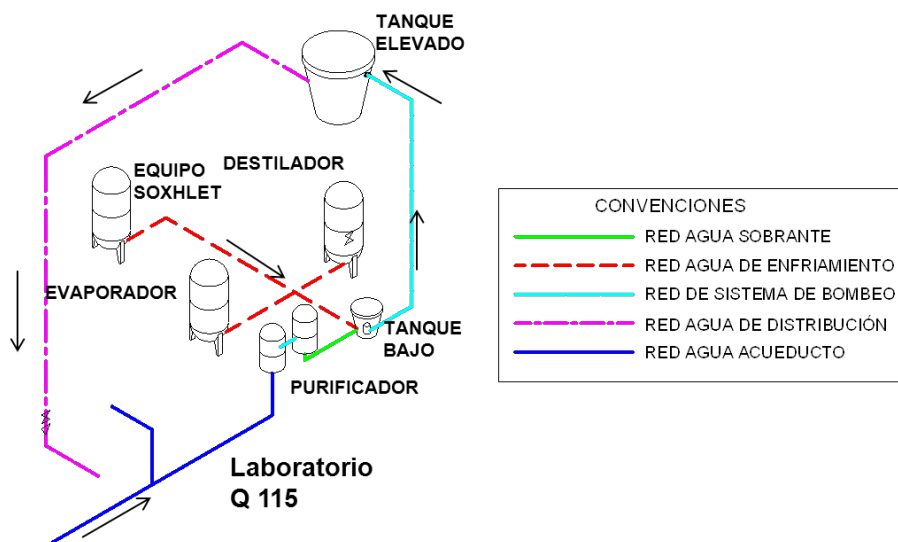


Figura 8. Esquema de funcionamiento Alternativa nº2

4.1.3. Alternativa N°3

La alternativa contempla la posibilidad de tener todos los equipos en el laboratorio de procesos Q115. El diseño comprende un sistema de recuperación de agua mediante la recolección y almacenamiento en un solo tanque de almacenamiento; ubicado en el laboratorio Q115 a nivel de piso, con la función de recolectar y almacenar el agua proveniente de cada equipo. También un sistema de bombeo para garantizar el suministro en las condiciones de presión y continuidad en la red, se instalará un sistema de presión constante conectado a una (1) motobomba, con capacidad para un caudal y presión que demanda el sistema.

El control de prendido y apagado de las bombas de suministro se hace por intermedio de un sistema hidroneumático, que controla la demanda del caudal a través de la presión suministrada por las bombas. El equipo contará con un tanque hidroneumático de que tendrá la labor de suplir las necesidades de caudal, cuando los consumos sean bajos y no se necesite tener la bomba prendida. El control de prendido se hará mediante programador en el tablero de control.

Los principales componentes del sistema son:

- Un tanque de almacenamiento bajo
- Motobomba
- Tanque hidroneumático
- Tablero de control
- Red de agua sobrante
- Red de agua de enfriamiento
- Red de distribución
- Válvulas de corte, cheque, reguladora de presión

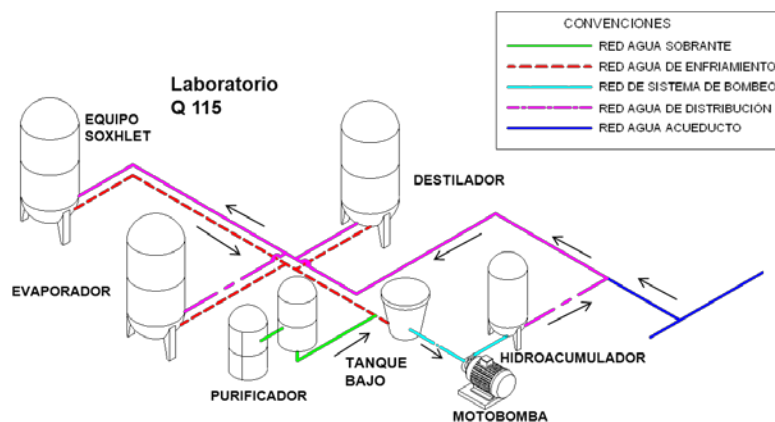


Figura 9. Esquema de funcionamiento Alternativa n°3

4.2. PRESUPUESTO ESTIMADO POR ALTERNATIVA

4.2.1. Presupuesto estimado Alternativa nº1

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
1	DEMOLICIÓN				
1.1	DEMOLICIÓN DE PISO + BALDOSA DE CONCRETO	m²	7	\$ 10,084.00	\$ 70,588.00
2	MOVIMIENTO DE TIERRA				
2.1	EXCAVACIÓN MANUAL EN MATERIAL COMÚN SIN CLASIFICAR	m³	2.1	\$ 26,384.00	\$ 55,406.00
2.2	LLENO COMPACTADO CON MATERIAL DEL SITIO	m³	2.1	\$ 17,859.00	\$ 37,504.00
3	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS				
3.1	TUBERÍA PVC PRESIÓN DE 3/4" RDE 21	m	5	\$ 8,458	\$ 42,290.00
3.1	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TUBERÍA PVC PRESIÓN DE 1/2" RDE 13,5	m	100	\$ 8,408	\$ 840,800.00
3.1	VÁLVULA DE PASO RED WHITE Ø 3/4"	Un	4	\$ 15,580	\$ 62,320.00
4	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS, ACCESORIOS, SISTEMA DE BOMBEO				
4.1	ELECTRO BOMBA SUMERGIBLE TIPO TOP 2 (INCLUYE FLOTADOR)	Un	2	\$319,000.00	\$ 638,000.00
4.2	FLOTADOR ELECTRIC (CONTROL DE NIVEL)	Un	2	\$ 35,000.00	\$ 70,000.00
4.3	CONTACTOR MARCA CHINT 9A	Un	1	\$ 17,241.00	\$ 17,241.00
4.4	VÁLVULA SOLENOIDE PARA AGUA 110V	UN	1	\$269,000	\$ 269,000.00
4.5	VÁLVULA DE PASO RED WHITE Ø 1/2"	Un	2	\$ 67,232	\$ 134,464.00
4.6	VÁLVULA CHEQUE HORIZONTAL PVC, Ø1/2"	Un	1	\$ 40,100	\$ 40,100.00

4.7	VÁLVULA CHEQUE VERTICAL PVC, Ø1/2"	Un	1	\$ 27,550	\$ 27,550.00
4.8	TANQUE DE ALMACENAMIENTO PLÁSTICO, CAPACIDAD 500 LITROS	Un	2	\$ 144,900	\$ 289,800.00
4.9	INSTALACIÓN BOMBAS Y ACCESORIOS				\$ 300,000.00
5	OBRAS EN CONCRETO REFORZADO				
5.1	PLACA MACIZA EN CONCRETO DE 3000 PSI, F _c =21 Mpa, e=0.15m	m ²	2	\$584,449.00	\$ 1,052,008.00
5.2	PISO EN BALDOSA TIPO TERRAZZO N°5 P5B	m ²	3	\$ 70,368.00	\$ 175,920.00
6	OBRAS VARIAS				\$ -
6.1	ANCLAJES PARA TUBERÍA COLGADA SEGÚN DISEÑO	Un	10	\$ 19,938.00	\$ 199,380.00
6.2	BASE DE APOYO PARA TANQUE ALTO (INCLUYE REFUERZO)	Un	1	\$230,000.00	\$ 230,000.00
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 4,555,371

4.2.2. Presupuesto estimado Alternativa n°2

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
1.0	DEMOLICIÓN				
1.1	DEMOLICIÓN DE PISO + BALDOSA DE CONCRETO	m ²	2.00	\$ 10,084.00	\$ 20,168.00
2.0	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS				
2.1	TUBERÍA PVC PRESIÓN DE 3/4" RDE 21	m	5	\$ 8,458	\$ 42,290.00
2.2	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TUBERÍA PVC PRESIÓN DE 1/2" RDE 13,5	m	50	\$ 8,408	\$ 420,400.00

2.2	VÁLVULA DE PASO RED WHITE Ø 3/4"	Un	4	\$ 15,580	\$ 62,320.00
3.0	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS, ACCESORIOS, SISTEMA DE BOMBEO				
3.1	ELECTRO BOMBA SUMERGIBLE TIPO TOP 2 (INCLUYE FLOTADOR)	Un	2	\$319,000.00	\$ 638,000.00
3.2	FLOTADOR ELECTRIC (CONTROL DE NIVEL)	Un	2	\$ 35,000.00	\$ 70,000.00
3.3	CONTACTOR MARCA CHINT 9A	Un	1	\$ 17,241.00	\$ 17,241.00
3.4	VÁLVULA SOLENOIDE PARA AGUA 110V	UN	1	\$269,000.00	\$ 269,000.00
3.5	VÁLVULA DE PASO RED WHITE Ø 1/2"	Un	2	\$ 67,232	\$ 134,464.00
3.6	VÁLVULA CHEQUE HORIZONTAL PVC, Ø1/2"	Un	1	\$ 40,100	\$ 40,100.00
3.7	VÁLVULA CHEQUE VERTICAL PVC, Ø1/2"	Un	1	\$ 27,550	\$ 27,550.00
3.8	TANQUE DE ALMACENAMIENTO PLÁSTICO, CAPACIDAD 500 LITROS	Un	2	\$ 144,900	\$ 289,800.00
3.9	INSTALACIÓN BOMBAS Y ACCESORIOS				\$ 300,000.00
5.0	OBRAS EN CONCRETO REFORZADO				
5.1	PLACA MACIZA EN CONCRETO DE 3000 PSI, F'c=21 Mpa, e=0.15m	m²	2	\$584,449.00	\$ 1,052,008.00
5.2	PISO EN BALDOSA TIPO TERRAZZO N°5 P5B	m²	3	\$ 70,368.00	\$ 175,920.00
6	OBRAS VARIAS				\$ -
6.1	ANCLAJES PARA TUBERÍA COLGADA SEGÚN DISEÑO	Un	10	\$ 19,938.00	\$ 199,380.00
6.2	BASE DE APOYO PARA TANQUE ALTO (INCLUYE REFUERZO)	Un	1	\$230,000.00	\$ 230,000.00

TOTAL COSTO DIRECTO	\$ 3,988,641
----------------------------	---------------------

4.2.3. Presupuesto estimado Alternativa nº3

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
1.0	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS				
1.0	TUBERÍA PVC PRESIÓN DE 1" RDE 21	m	3	\$ 12,041	\$ 36,123.00
1.1	TUBERÍA PVC PRESIÓN DE 3/4" RDE 21	m	12	\$ 8,458	\$ 101,496.00
1.2	TUBERÍA PVC PRESIÓN DE 1/2" RDE 13,5	m	10	\$ 8,408	\$ 84,080.00
1.7	VÁLVULA DE PASO RED WHITE Ø 1"	Un	2	\$ 75,034	\$ 150,068.00
1.8	VÁLVULA DE PASO RED WHITE Ø 3/4"	Un	2	\$ 70,150	\$ 140,300.00
1.9	VÁLVULA DE PASO RED WHITE Ø 1/2"	Un	3	\$ 67,232	\$ 201,696.00
1.10	VÁLVULA DE CHEQUE DE Ø 1"	Un	1	\$ 55,100	\$ 55,100.00
1.11	VÁLVULA DE CHEQUE DE Ø 3/4"	Un	3	\$ 40,100	\$ 120,300.00
1.12	VÁLVULA DE CHEQUE DE Ø 1/2"	Un	4	\$ 27,550	\$ 110,200.00
1.13	REDUCCIÓN PVC, Ø1" x Ø3/4"	Un	1	\$ 4,500	\$ 4,500.00
1.14	REDUCCIÓN PVC, 3/4" x Ø1/ 2"	Un	1	\$ 4,100	\$ 4,100.00
1.15	VÁLVULA SOLENOIDE PARA AGUA 110V	Un	1	\$ 240,000	\$ 240,000.00
2.0	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS, ACCESORIOS, SISTEMA DE BOMBEO				
2.1	SISTEMA DE PRESIÓN (INCLUYE TANQUE HIDROACULADOR E INSTALACIÓN)	Un	1	\$100,000.00	\$ 1,000,000.00
2.2	TANQUE DE ALMACENAMIENTO PLÁSTICO, CAPACIDAD 500 LITROS (INCLUYE FLOTADOR)	Un	1	\$215,865.00	\$ 215,865.00
2.3	VÁLVULA DE CONTROL DE PRESIÓN PVC, Ø1"	Un	1	\$215,865.00	\$ 160,000.00

3.0	CONCRETO PARA CUARTO DE BOMBEO				
3.1	PLACA MACIZA EN CONCRETO DE 3000 PSI, F'c=21 Mpa, e=0.10m	m ³	2	\$ 68,122.00	\$ 147,143.52
3.2	COLUMNA DE AMARRE EN CONCRETO DE 3.000 PSI DE 0,15 X 0,20 m, INCLUYE REFUERZO	m	6	\$ 61,227.00	\$ 391,852.80
3.3	MURO EN LADRILLO FAROL PANDERETA e=0.,10m	m ²	5	\$ 26,386.00	\$ 126,125.08
3.4	VIGAS DE AMARRE EN CONCRETO DE 3000 PSI, F'c=21 Mpa, DE 15cm x 20 cm, INCLUYE REFUERZO	m	5	\$ 50,120.00	\$ 234,561.60
3.4	PUERTA EN LÁMINA C 20 1,00 x 1,50 m, INCLUYE ANTICORROSIVO, PINTURA, CHAPA, MANIJA Y TOPE	Un	1	\$415,591.00	\$ 415,591.00
4	OBRAS VARIAS				\$ -
4.1	ANCLAJES PARA TUBERÍA COLGADA SEGÚN DISEÑO	m ³	10	\$ 1,000.00	\$ 10,000.00
4.2	BASE DE APOYO PARA TANQUE PLASTICO	Un	1	\$ 50,000.00	\$ 50,000.00
4.3	PLACA MACIZA EN CONCRETO DE 3000 PSI, F'c=21 Mpa, e=0.20m (PARA BLOQUE APOYO DE TANQUE PLASTICO)	m ²	1	\$110,849.00	\$ 66,509.00
4.4	PLACA MACIZA EN CONCRETO DE 3000 PSI, F'c=21 Mpa, e=0.20m (PARA BLOQUE DE APOYO DE LA BOMBA)	m ²	1	\$110,849.00	\$ 70,943.00

TOTAL COSTO DIRECTO	\$ 4,165,554
----------------------------	---------------------

4.3. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS

La evaluación de las alternativas planteadas, se realiza con base en los siguientes criterios:

Criterios económicos

- Costos de los equipos.
- Costos de instalación.
- Costos de operación y mantenimiento

Criterios técnicos:

- Operación del sistema.
- Disposición de los equipos.
- Restricciones de almacenamiento.

Con base en los criterios económicos, las tres alternativas se podrían evaluar de la siguiente forma:

Primer lugar para la alternativa n°2 con un valor de \$ 3,988,641

Segundo lugar para la alternativa n°3 con un valor de \$ 4,165,554

Tercer lugar para la alternativa n°1 con un valor \$ 4,555,371

En cuanto a los criterios técnicos, la operación de los equipos estaría automatizada dando así un valor igual a todas las alternativas.

Por otra parte, considerando la disposición de los equipos estaría en primer lugar las alternativas n°2 y n°3, dejando así como la restricción de almacenamiento el ítem a tener en cuenta al seleccionar la alternativa más óptima.

Dado la restricción de tener un tanque elevado encima del laboratorio, lo cual llevaría hacer una estructura independiente para elevar el tanque que cumpla con todas las normas de sismorresistencia, lo cual conlleva a un sistema más complejo en cuanto permisos y diseños, por lo tanto se constituye que la alternativa más favorable es la n°3, siendo esta viable, económica y de fácil instalación.

5. DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA.

5.1. PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO.

5.1.1. Ecuaciones de diseño

Para el cálculo y dimensionamiento de la red se utilizaron las siguientes ecuaciones:

Ecuación de Bernoulli generalizada:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \right) + h_f + h_m \quad \text{Ec. 1}$$

Numero de Reynolds:

$$Re = \frac{V*d}{\nu} \quad \text{Ec.2}$$

Darcy Wiesbach:

$$h_f = f \frac{LV^2}{d2g} \quad \text{Ec.3}$$

Rugosidad relativa de la tubería:

$$\varepsilon = \frac{Ks}{D} \quad \text{Ec.4}$$

Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log_{10} \left[\frac{Ks}{3.7d} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right] \quad \text{Ec.5}$$

Pérdidas menores en accesorios:

$$hm = (\sum Km) \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec.6}$$

Dónde:

h_f = Pérdida por fricción

f = Factor de fricción

h_m = Pérdidas en accesorios

K_m = Coeficiente de pérdidas menores en accesorios.

V = Velocidad media del flujo en la tubería.

ν = Viscosidad cinemática

K_s = Coeficiente de rugosidad para tuberías

Para el cálculo y dimensionamiento de la bomba las siguientes ecuaciones:

Potencia requerida por la bomba

$$P = \frac{\rho g Q H}{\eta} \quad \text{Ec.7}$$

ρ = Densidad del fluido.

g = Gravedad.

Q = Caudal de bombeo.

H = Altura total del sistema.

η = Eficiencia de la bomba.

Velocidad máxima en las redes internas de 2.0 m/s para diámetros menores a 3"

5.1.2. Sistema hidroneumático

Los sistemas se basan en el principio de compresibilidad o elasticidad del aire cuando son sometidos a presión.

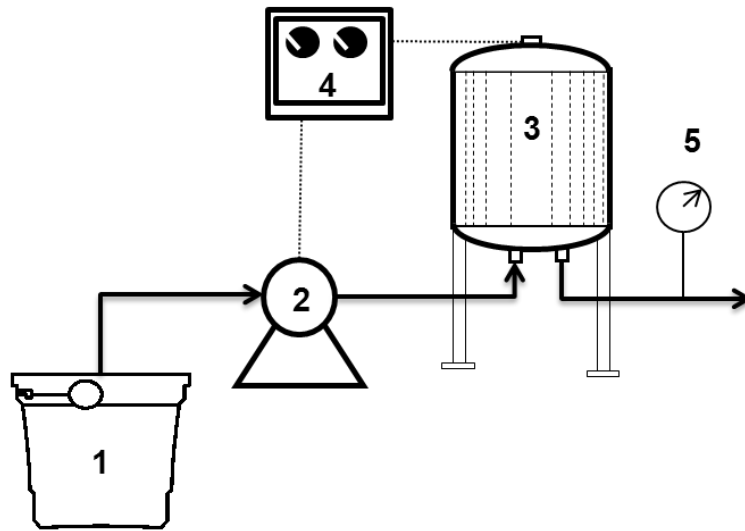


Figura 10. Esquema de funcionamiento de un sistema hidroneumático.

El agua es suministrada desde un punto al tanque de almacenamiento (1) donde a través de una bomba (2) será impulsada a un recipiente a presión tanque hidroneumático (3) que contiene volúmenes variables de agua y aire. Cuando el agua entra al recipiente (3) se comprime el aire y aumenta la presión, cuando se llega a un nivel de agua y presión determinados (Presión máxima), se produce la señal de parada de la bomba y el tanque (3) queda en la capacidad de abastecer la red, cuando los niveles de presión bajan a los mínimos preestablecidos (Presión mínima), sensados en el manómetro (5), se acciona el mando de encendido de la bomba (4) nuevamente.

5.1.3. Sistemas de control

Un sistema de control es un conjunto de componentes ya sean mecánicos eléctricos o hidráulicos interconectados entre sí, con la función de recibir información compararla y entregar una salida deseada.

5.1.3.1. Sistema de control de nivel en tanques.

Es un dispositivo que se encarga de sensar el nivel de agua en el tanque, y así, regular el arranque o parada de la bomba.

5.1.4. Válvulas

Las válvulas son componentes importantes en el diseño de sistemas de tuberías y sus funciones principales son controlar el paso y cierre de caudal, control y

regulación de caudal y presión, las cuales pueden ser accionadas manual o automáticamente.

Válvulas de paso también llamadas válvulas de corte utilizadas para controlar el paso de caudal por una tubería,

Válvula reguladora de caudal: se utilizan cuando se desea tener un caudal fijo requerido aguas abajo de la tubería.

Válvula reductora de presión: su función es limitar la presión aguas abajo del punto de la válvula para que no sobrepase la presión requerida.

Válvula antirretorno: Su función es evitar el paso en sentido contrario del flujo determinado.

Electroválvula: Válvula accionada eléctricamente por medio de una bobina solenoide al recibir una señal. Su función es controlar el paso de caudal en una tubería automáticamente cuando se cumple una condición dada en el sistema.

5.2. DISEÑO DE LA RED DE CONDUCCIÓN DE AGUA A RECUPERAR

5.2.1. Descripción de la conformación del sistema

La red de conducción encargada de recuperar el agua está constituida por tres tramos como se muestra en la Figura 11

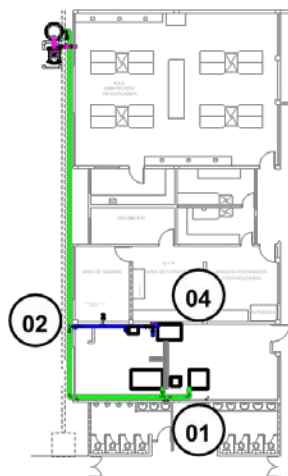


Figura 11. Conformación de la red de conducción de agua a recuperar.

Tramo (01 – 02): Tubería pvc que se encarga de recolectar el agua de los equipos destilación y evaporación con una longitud total de 12.70 m

Tramo (04 – 02): Tramo de tubería en pvc que se encarga de recolectar el agua de los equipos de purificación y extractor Soxhlet con una longitud total de 5.70m

Tramo (02 – 03): Tramo de tubería en pvc, comprendido entre el punto de empalme de los dos ramales y el tanque de almacenamiento con una longitud de 20.00m

Ver anexo E plano 02

5.2.2. Parámetros del material y fluido de trabajo

Datos conocidos

Tipo de fluido : agua 25°C

Material: Tubería PVC

$K_s = 0.0015 \text{ mm}$

$\nu = 0.897 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

5.2.3. Cálculo del diámetro mínimo

Cálculo del diámetro mínimo del tramo (01-02)

$Q_1 = 0.00046 \text{ m}^3/\text{s}$

$V_{\max} = 2.00 \text{ m/s}$

$Q = VA$

$A = \frac{Q}{V} = 0.000039 \text{ m}^2$

Donde $A = \frac{\pi D^2}{4}$

$$D_{min} = \sqrt{\left(\frac{4 * A}{\pi}\right)}$$

$$D_{min} = 17.16mm$$

Cálculo del diámetro mínimo del tramo (04-02)

$$Q_2=0.000078m^3/s$$

$$V_{max}=2.00m/s$$

$$D_{min} = 7.05$$

Cálculo del diámetro mínimo del tramo (02-03)

$$Q_3=Q_1+Q_2$$

$$Q_3=0.0054m^3/s$$

$$V_{max}=2.00m/s$$

$$D_{min} = 18.55mm$$

Tabla 6. Cálculo del diámetro mínimo de tubería por tramos

TRAMO	Q		D	v	Reynolds
	m ³ /s	L/s	mm	m/s	R _e
Tramo 1-2	0.00046	0.46	17.16	2.00	38251
Tramo 4-2	0.000078	0.08	7.05	2.00	15712
Tramo 2-3	0.00054	0.54	18.55	2.00	36835

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 6 se seleccionan los siguientes diámetros comerciales (ver Anexo 4A):

PVC-1/2" con un diámetro interno de 18.18mm.

PVC 3/4" con un diámetro interno de 23.63mm.

PVC 1" con un diámetro interno de 30.20mm.

5.2.4. Cálculo de la velocidad y el número de Reynolds con el diámetro real.

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

$$Re = \frac{V * d}{\nu}$$

Cálculo para el tramo (01-02)

$$D_{real_int} = 18.18mm$$

$$V = 1.78 \text{ m/s}$$

$$Re = 36076$$

Cálculo para el tramo (04-02)

$$D_{real_int} = 18.18mm$$

$$V = 0.30 \text{ m/s}$$

$$Re = 6080$$

Cálculo para el tramo (02-03)

$$D_{real_int} = 23.63mm$$

$$V = 1.23 \text{ m/s}$$

$$Re = 32402$$

5.2.5. Cálculo de pérdidas menores por accesorios

Para el cálculo de las pérdidas menores se tuvieron en cuenta los siguientes valores:

Tabla 7. Coeficientes de pérdidas para diferentes accesorios

N°	ACCESORIO	Km
1	Codo 90°	0.90
2	Tee	0.30

3	Válvula completamente abierta	0.20
4	Reducción/expansión	0.15
5	Válvula de cheque	2.50

Fuente: Hidráulica de tuberías, Abastecimiento de agua, redes y riego (ver Anexo 2A).

Tabla 8. Cálculo de accesorios y de coeficientes de pérdidas tramo 1-2

TRAMO 1-2			
ACCESORIO	Km	CANTIDAD	Km SUBTOTAL
Codo 90°	0.90	2	1.80
Tee	0.30	2	0.60
Válvula completamente abierta	0.20	1	0.20
Válvula de cheque	2.50	2	5.00
ΣKm TOTAL=			7.60

Tabla 9. Cálculo de accesorios y de coeficientes de pérdidas tramo 4-2

TRAMO 4-2			
ACCESORIO	Km	CANTIDAD	Km SUBTOTAL
Codo 90°	0.90	0	0.00
Tee	0.30	2	0.60
Válvula completamente abierta	0.20	1	0.20
Válvula de cheque	2.50	2	5.00
ΣKm TOTAL=			5.80

Tabla 10. Cálculo de accesorios y de coeficientes de pérdidas tramo 2-3

TRAMO 2-3			
ACCESORIO	Km	CANTIDAD	Km SUBTOTAL
Codo 90°	0.90	1	0.90
Tee	0.30	1	0.30
Válvula completamente abierta	0.20	1	0.20
Reducción/expansión	0.15	1	0.15
ΣKm TOTAL=			1.55

Tabla 11. Cuadro de cálculo de las pérdidas menores en accesorios

TRAMO	k_m	v	Reynolds	h_m^1
		m/s	Re	m
Tramo 1-2	7.60	1.78	36076	1.23
Tramo 4-2	5.80	0.30	6080	0.03
Tramo 2-3	1.55	1.23	32402	0.12

Dónde: $hm = (\sum Km) \frac{v^2}{2g}$

5.2.5.1. Cálculo del factor de fricción:

Para calcular el factor de fricción se utiliza la fórmula universal de pérdida de carga en tuberías industriales Colebrook-White y considerando un flujo en transición se cumple que:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{Ks}{3.7d} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right]$$

¹ Los cálculos de las pérdidas menores en accesorios para estos tramos se encuentran en el Anexo2B

Tabla 12. Cuadro de cálculo del factor de fricción.

TRAMO	Diámetro		v	Reynolds	Factor de Fricción
	Nominal pulg	Real m	m/s	R _e	f ²
Tramo 1-2	1/2	18.18	1.78	36076	0.0227
Tramo 4-2	1/2	18.18	0.30	6080	0.0355
Tramo 2-3	3/4	23.63	1.23	32402	0.0233

5.2.6. Cálculo de pérdidas en tubería por fricción

Para calcular las pérdidas en tubería por fricción se utiliza la fórmula de Darcy Wiesbach:

$$h_f = f \frac{LV^2}{d2g}$$

Tabla 13. Cuadro de cálculo de pérdidas en la tubería por fricción

TRAMO	D nomi nal	D Int. real	L	V	h _f ²
	pulg	mm	m	m/s	m
Tramo 1-2	1/2	18.18	12.70	1.78	2.56
Tramo 4-2	1/2	18.18	5.70	0.30	0.05
Tramo 2-3	3/4	23.63	20.00	1.23	1.52

² Los cálculos del factor de fricción y pérdidas en la tubería para estos tramos se encuentran en el Anexo2B

Tabla 14. Cuadro de pérdidas totales en la red.

TRAMO	Q	D	L	k _m	v	Reynolds	Factor de Fricción	h _f	h _m	h _{total}
	m³/s	pulg	m	m	m/s	R _e	f	m	m	m
Tramo 1-2	4.62E-04	1/2	12.70	7.60	1.78	36076	0.0227	1.23	1.23	3.79
Tramo 4-2	7.8E-05	1/2	5.70	5.80	5.30	6080	0.0355	0.08	0.03	0.08
Tramo 2-3	5.4E-04	3/4	20.00	1.30	1.55	32402	0.0233	1.64	0.12	1.64

5.2.7. Cálculo de la presión requerida para alimentar el tanque de almacenamiento.

Planteamiento de la ecuación de Bernoulli generalizada entre los puntos 1-2 siendo 1 el punto de entrega del equipo y 2 la llegada al tanque de almacenamiento como muestra el esquema de la Figura 12.

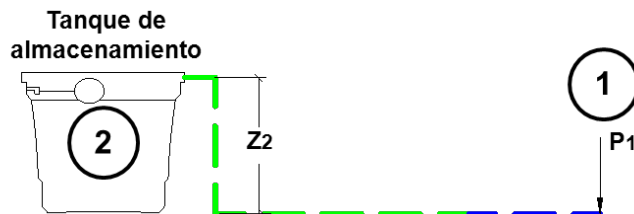


Figura 12. Esquema de funcionamiento del sistema.

Planteamiento de la ecuación

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \right) + h_f + h_m \quad \text{Ec.1}$$

Para efectos de cálculo se asume que la velocidad en los dos puntos es igual y la presión manométrica es igual a cero

De lo anterior se tiene la siguiente expresión

$$\frac{P_1}{\gamma} = (Z_2) + h_f + h_m \quad \text{Ec.1.1}$$

Dónde:

$\frac{P_1}{\gamma} = H_r =$ Altura requerida en el equipo para alimentar el tanque de almacenamiento.

$Z_2 =$ Altura total del tanque de almacenamiento

Se toma el destilador como equipo crítico ya que se encuentra en el punto más lejano del tanque de almacenamiento.

Se sabe que,

$Z_2 = 2.40\text{m}$ (Altura del tanque)

Se suma las pérdidas de cabeza en la tubería por fricción y pérdidas menores por accesorios de los tramos 1-2 y 2-3

$$h_f = h_{f(1-2)} + h_{f(2-3)}$$

$$h_f = 2.56\text{m} + 1.52\text{m} \Rightarrow h_f = 4.08\text{m}$$

$$h_m = h_{m(1-2)} + h_{m(2-3)}$$

$$h_m = 1.23\text{m} + 0.12\text{m} \Rightarrow h_m = 1.35\text{m}$$

Se reemplaza en la ecuación 1.1

$$H_r = 2.40\text{m} + 3.08\text{m} + 1.35\text{m} \Rightarrow H_r = 7.83\text{m}$$

Se puede concluir que la presión mínima por equipo debe ser de 7.83m (11.13 psi)

Ahora se calcula la altura requerida para el equipo extractor Soxhlet donde:

$$h_f = h_{f(4-2)} + h_{f(2-3)}$$

$$h_f = 0.05\text{m} + 1.52\text{m} \Rightarrow h_f = 1.57\text{m}$$

$$h_m = h_{m(4-2)} + h_{m(2-3)}$$

$$h_m = 0.03\text{m} + 0.12\text{m} \Rightarrow h_m = 0.15\text{m}$$

$$H_r = 2.40\text{m} + 1.57\text{m} + 0.15\text{m} \Rightarrow H_r = 4.12\text{m}$$

Se puede concluir que la presión mínima por equipo del extractor soxhlet debe ser de 4.12m (5.86 psi).

Tabla 15. Cuadro comparativo de la presión disponible en el equipo y la presión requerida.

EQUIPO PRESIÓN	DESTILADOR	EVAPORADOR	SOXHLET	PURIFICADOR
Presión Disponible	11.95mca	11.25mca	10.55mca	7.00mca
Presión Requerida	7.83mca	7.83mca	4.12mca	4.12mca

Como se puede observar en Tabla 15 todos los equipos cumplen con la altura mínima requerida para llenar el tanque de almacenamiento.

5.2.8. Especificaciones de la tubería de conducción

La red de conducción se construirá, para el tramo (1-2) y (4-2) en tubería de PVC-RDE 13.5 con un diámetro nominal de 21 mm (1/2"), y el tramo (2-3) en PVC-RDE 21 con un diámetro nominal de 26 mm (3/4") como se muestra en la Figura 13.

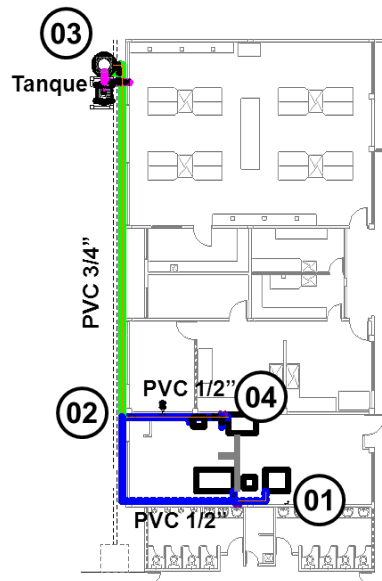


Figura 13. Redes que componen la conducción.

La instalación de la tubería y accesorios debe efectuarse de acuerdo con lo indicado en los planos respectivos, siguiendo cuidadosamente las instrucciones sobre el montaje dadas por los fabricantes.

Para sujetar las tuberías constitutivas de la red hidráulica se usarán abrazaderas ajustables al diámetro de la tubería y no se podrá hacer soldaduras sobre las mismas. Los soportes no deben aprisionar la tubería e impedir los movimientos longitudinales necesarios debidos a las expansiones térmicas de los materiales.

5.3. DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Para el dimensionamiento del tanque se proyectaron todos los equipos funcionando a caudal máximo, en un tiempo de cuatro (4) horas que dura la práctica.

Caudal total del sistema: 0.54 L/s

Tiempo: 4 horas

$$\text{Volumen} = Q * T \quad \Rightarrow \quad V = 0.54 \text{ L/s} * 4\text{horas} * 3600\text{s}$$
$$V = 7776 \text{ Litros}$$

El tanque de almacenamiento debe estar en capacidad de contener el volumen total de 8m^3 .

De lo anterior se plantea la instalación de un tanque plástico comercial con capacidad de 10m^3 (10.000 litros), localizado en el cuarto de bombas ubicado en el área posterior del laboratorio Q 113 Ver anexo E plano 02



Figura 14. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento

Fuente: www.colempaques.com

Dimensiones en cm

Capacidad	A	B	C	D	E
10.000 Litros	220	240	252	200	273

Tabla 16. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento

Fuente: www.colempaques.com.

5.4.2. Cálculo de la presión requerida en el punto de entrega

Para el cálculo de la presión requerida se cuenta con la siguiente información:

Se calcula la presión requerida para los puntos más críticos del sistema que son el destilador y el extractor los cuales se encuentran más alejados con respecto al punto de entrega como se indica en la Figura 16 .

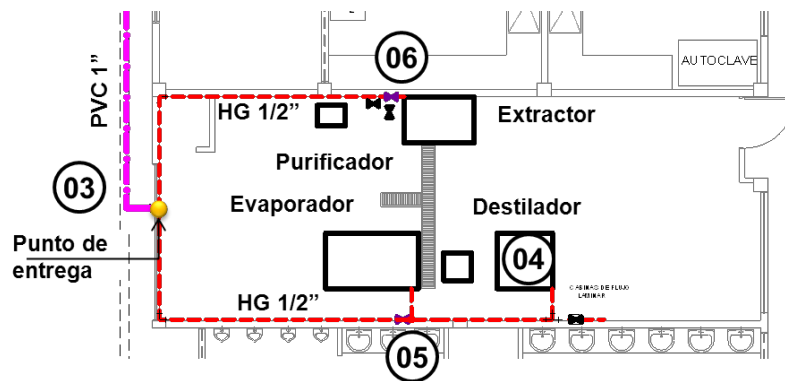


Figura 16. Localización de la red existente y punto de entrega.

5.4.2.1. Cálculo de la presión requerida para los tramos 4-5 y 5-3 (Tubería existente en Hierro Galvanizado)

Datos de la tubería

Material Hierro Galvanizado (HG)

Diámetro interno real = 1/2" (12.5mm)

$K_s=0.15\text{mm}$

Propiedades físicas del fluido:

Tipo de fluido : agua

Temperatura: 25°C

$\nu = 0.897\text{E-}06 \text{ m}^2/\text{s}$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Tabla 17. Cuadro de cálculo de los coeficientes de pérdidas menores en accesorios tramo 4-5

TRAMO 4-5 (Tubería HG existente)			
ACCESORIO	Km	CANTIDAD	Km SUBTOTAL
Codo 90°	0.90	1	0.90
Tee	0.30	1	0.60
Km TOTAL			1.20

Tabla 18. Cuadro de cálculo de los coeficientes de pérdidas menores en accesorios tramo 5-3

TRAMO 5-3 (Tubería HG existente)			
ACCESORIO	Km	CANTIDAD	Km SUBTOTAL
Codo 90°	0.90	1	0.90
Tee	0.30	1	0.30
Válvula completamente abierta	0.20	2	0.40
Km TOTAL			1.60

Tabla 19. Cuadro de pérdidas totales en los tramos.5-4 y 5-3 (tubería HG existente)

TRAMO	Q	D interno real	L	k _m	v	Re	Factor de Fricción	h _f	h _m	h _{total} ³
	m ³ /s	mm	m		m/s	R _e	f ³	m	m	m
Tramo 4-5	1.75E-04	12.5	3.17	1.2	1.43	19928	0.0429	1.13	0.125	1.26
Tramo 5-3	4.62E-04	12.5	8.41	1.6	3.77	52536	0.0414	20.18	1.159	21.34

Como se puede observar en la Tabla 19, las pérdidas en el tramo 4-3 son muy grandes, esto debido a la velocidad tan alta en el tramo, por lo anterior es necesario cambiar el diámetro a uno mayor en los dos tramos para una mayor eficiencia en la red.

³ Los cálculos del factor de fricción y pérdidas en la tubería para estos tramos se encuentran en el Anexo3B

5.4.2.2. Cálculo de la presión requerida para los tramos 4-5 y 5-3 (Reemplazando la tubería de Hierro galvanizado por tubería PVC)

Datos conocidos:

Tubería PVC

Diámetro Interno: 18.18m

Diámetro nominal= 1/2"

$K_s=0.0015\text{mm}$

$v = 0.897\text{E-}06 \text{ m}^2/\text{s}$

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Tabla 20. Cuadro de pérdidas totales en los tramos.5-4 y 5-3 (Tubería nueva PVC)

TRAMO	Q	D	L	k_m	v	Reynolds	Factor de Fricción	h_f^4	h_m	h_{total}^4
	m ³ /s	pulg	m		m/s	R_e	f^4	m	m	m
Tramo 4-5	1.75E-04	1/2	3.17	1.20	0.67	13579	0.0287	0.11	0.027	0.14
Tramo 5-3	4.62E-04	1/2	8.41	1.60	1.78	36076	0.0227	1.40	0.258	1.96

Altura requerida en el punto de entrega es igual:

$H_{requerida} = \text{Altura total de pérdidas} + \text{altura requerida por el destilador}$

$H_{rer} = 0.14\text{m} + 1.96\text{m} + 11.95\text{m}$

Presión requerida en el punto de entrega = 14.05m (20.0psi)

⁴ Los cálculos del factor de fricción y pérdidas en la tubería para estos tramos se encuentran en el Anexo 3B

5.4.2.3. Cálculo de la presión requerida para el tramos 6-3

Tabla 21. Cuadro de cálculo de los coeficientes de pérdidas menores en accesorios tramo 6-3

TRAMO 6-3 (Tubería existente, Hierro galvanizado)			
ACCESORIO	Km	CANTIDAD	Km SUBTOTAL
Codo 90°	0.90	2	1.8
Tee	0.30	1	0.30
Válvula completamente abierta	0.20	1	0.20
Reducción/expansión	0.15	1	0.15
Km TOTAL			2.45

Tabla 22. Cuadro de pérdidas totales en los tramos.7-6 y 6-3 (tubería existente, Hierro Galvanizado)

TRAMO	Q	D	L	k_m	v	Reynolds	Factor de Fricción	h_f⁵	h_m	h_{total}⁵
	m ³ /s	pulg	m		m/s	R _e	f	m	m	m
Tramo 6-3	6.9E-05	1/2	8.20	2.45	0.56	7804	0.0479	0.49	0.039	0.53

Como se puede observar en la Tabla 22 el tramo no presentan pérdidas significativas, por lo tanto, se conserva el mismo diámetro y material.

⁵ Los cálculos del factor de fricción y pérdidas en la tubería para estos tramos se encuentran en el Anexo 3B

Altura requerida en el punto de entrega es igual

$H_{requerida} = \text{Altura total de pérdidas} + \text{altura requerida por el Extractor}$

$H_{rer} = 0.53\text{m} + 10.55\text{m}$

Presión requerida en el punto de entrega = 11.08m (15.76psi)

Para el cálculo de la cabeza requerida se considera que el punto más crítico es el destilador una presión requerida de 14.05m (20.0psi)

5.4.3. Cálculo de potencia requerida por el sistema

$$P = \rho g Q H$$

Donde

$$\rho = 997.1 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$Q = (5.3 \times 10^{-4}) \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = H_{re} + \left[(h_f + h_m)_{\text{succión}} + (h_f + h_m)_{\text{impulsión}} \right] \pm \Delta P$$

Tabla 23. Cuadro de cálculo de los coeficientes de pérdidas menores en accesorios en succión e impulsión

SUCCIÓN			
ACCESORIO	Km	CANTIDAD	Km TOTAL
Válvula completamente abierta	0.20	1	0.20
IMPULSIÓN			
ACCESORIO	Km	CANTIDAD	Km SUBTOTAL
Codo 90°	0.90	2	1.80
Tee	0.30	1	0.30
Válvula completamente abierta	0.20	1	0.20
Reducción/expansión	0.15	1	0.15
Válvula de cheque	2.50	1	2.50
Km TOTAL			4.95

Tabla 24. Cuadro de pérdidas totales en succión e impulsión

TRAMO	Q	D	L	k _m	v	Reynolds	Factor de Fricción	h _f	h _m	h _{total} ⁶
	m ³ /s	pul	m		m/s	Re	f ⁶	m	m	m
Succión	5.3E-04	1	2	0.20	0.74	24914	0.0247	0.05	0.006	0.06
Impulsión	5.3E-04	1	21.30	4.95	0.74	24914	0.0247	0.49	0.138	0.63

Para un rango de presiones ($\pm\Delta P$) = $\pm 10m$

$$H_{min} = 14.05m + [(0.06m)_{succión} + (0.63m)_{impulsión}] \quad H = 14.73 m$$

$$H_{max} = 14.73m + 10m \quad \Rightarrow \quad H = 24.73 m$$

$$P = 997.1 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.00053 \frac{m^3}{s} \times 24.73m \quad \Rightarrow \quad P = 129.0W$$

5.4.4. Cálculo de potencia efectiva de la bomba

$$P_{ef} = \frac{Pr}{\eta}$$

Asumiendo una eficiencia de la bomba del 70%

$$P_{ef} = \frac{129W}{0.70}$$

$$P_{ef} = 0.184Kw \text{ (0.25Hp)}$$

⁶ Los cálculos del factor de fricción y pérdidas en la tubería para estos tramos se encuentran en el Anexo 4B

5.4.5. Selección de la bomba

Para la selección comercial de la bomba, deberá cumplir como mínimo con los siguientes parámetros:

- Caudal de suministro: 32.00L/min (8.46 GPM)
- Cabeza de trabajo: 25.00mca (36Psi)
- Potencia de la bomba =0.18Kw (0.25Hp)

Teniendo en cuenta los datos anteriores se elige una bomba que cumple con las condiciones mínimas requeridas:



Figura 17. Bomba de rodete periférico

Fuente:<http://pedrollo.com.co/es/productos>

Marca de la bomba: **Pedrollo**

Modelo: **PKm 65**

Potencia= **0.70 HP**

Caudal máximo = **40 L/min**

Cabeza de trabajo = **25m**

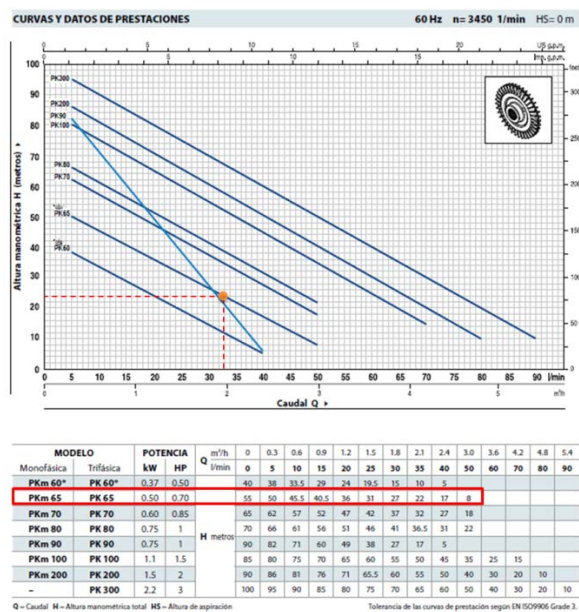


Figura 18. Curva de operación de la bomba
Fuente: <http://pedrollo.com.co/es/productos>

5.4.6. Especificaciones del sistema de bombeo

La tubería de succión contará con una válvula de control para mantenimiento periódico de la bomba y posibles daños en el sistema.

La bomba debe estar anclada sobre un bloque de concreto cuyas dimensiones deben estar acordes con el tamaño de los equipos y cuyo peso debe ser por lo menos del doble del peso de los elementos que va a soportar.

En ensamble dentro del cuarto de bombas se realizará de acuerdo a la disposición, diámetros y materiales contemplados en el plano. Para determinar la longitud de tramos de tuberías a cortarse, se ubican los accesorios que se conectarán a los extremos del tramo y se medirá con el traslape necesario para su conexión al accesorio.

Con excepción de las uniones, todos los accesorios deben soportarse individualmente y las válvulas deben anclarse para impedir el torque en la línea. Los tramos verticales deben guiarse con anillos o pernos en U.

5.4.7. Cálculo del tanque hidroneumático

Se requiere un tanque hidroneumático para una demanda de 31.90 lit/min (0.53L/s) y un rango de presión de 15.00 mca a 25.00 mca.

Para definir la capacidad del tanque hidroneumático se debe considerar la frecuencia del número de arranques del motor de la bomba, si el tanque es demasiado pequeño, la demanda de distribución extraerá el agua útil del tanque rápidamente y los arranques de la bomba serán demasiado frecuentes, lo cual causa desgaste de la bomba y un alto consumo de potencia.

Por convención se usa una frecuencia de 4 a 6 ciclos por hora, se considera que más de 6 arranques por hora puede ocurrir sobrecalentamiento en el motor, desgaste innecesario de las unidades de bombeo y un excesivo consumo de energía.

El punto en que ocurre el máximo número de arranques, es cuando el caudal de la demanda en la red alcanza el 50% de la capacidad de la bomba.

En este punto el tiempo en que funcionan las bombas es igual al tiempo en el que están detenidas. Si la demanda es mayor que el 50%, el tiempo de funcionamiento será más largo, cuando la bomba se detenga, la demanda aumentada extraerá el agua útil del tanque más rápidamente, pero la suma de los dos periodos será más larga.

Dimensionamiento del tanque hidroneumático

El procedimiento para el dimensionamiento del tanque hidroneumático se presenta a continuación:

$$T_c = \frac{1\text{hora}}{U} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde, T_c : representa el tiempo transcurrido entre dos arranques consecutivos de las bombas y U el número de ciclos de bombeo por hora.

Para garantizar el correcto funcionamiento de la bomba se asume $U=6$ ciclos, reemplazando en Ec.8 se tiene:

$$T_c = \frac{3600s}{6} \quad \Rightarrow \quad T_c = 600s$$

Por definición, el momento en el que ocurren más ciclos en una hora es cuando el caudal de la demanda (Q_d) es igual a la mitad del caudal de bombeo (Q_b) por lo tanto:

$$Q_d = \frac{Q_b}{2}$$

Por otro lado :

$$T_c = \frac{4V_u}{Q_b}$$

Despejando el volumen útil (V_u):

$$V_u = \frac{T_c Q_b}{4} \quad \text{Ec. 9}$$

$$V_u = \frac{600s \cdot 0.53L/s}{4} \quad \Rightarrow \quad V_u = 79.5L$$

Ahora se procede a calcular el porcentaje del volumen útil ($\%V_u$), representado por la siguiente ecuación:

$$\%V_u = 0.90 \left(\frac{P_{max} - P_{min}}{P_{max}} \right) \quad \text{Ec. 10}$$

$$\%V_u = 0.90 \left(\frac{25.00mca - 15mca}{25.00mca} \right) \quad \Rightarrow \quad \%V_u = 36\%$$

Cálculo del volumen total (V_t)

$$V_t = \frac{V_u}{\%V_u} \quad \text{Ec. 11}$$

Se tiene

$$V_t = \frac{80L}{0.36} \quad V_t = 220.80 l$$

Donde,

V_t : Volumen total del tanque hidroneumático

V_u : Volumen utilizable o de regulación

$\%V_u$: Relación entre el volumen utilizable y el volumen total del tanque

Para la selección comercial del equipo, deberá cumplir como mínimo con los siguientes parámetros:

- Caudal de suministro: $0.53 \text{ L/s} = 31.90 \text{ L/min}$
- Rango de presión de trabajo:
 - P_{\min} o de arranque = 15 mca (21 psi).
 - P_{\max} o de apagado = 25 mca (36. psi).
- Volumen del tanque hidroneumático = 200 litros

Teniendo en cuenta los datos anteriores se eligió un tanque que cumplen con las condiciones mínimas requeridas:



CL - VASO DE EXPANSION CILINDRICO

MODELO	CONEXION	CAPACIDAD
24 CL	1"	20 litros
60 CL	1"	60 litros
100 CL	1"	100 litros
200 CL	1½"	200 litros
300 CL	1½"	300 litros

Figura 19. Tanque hidroneumático
Fuente: <http://pedrollo.com.co/es/productos>

5.4.8. Selección del sistema hidroneumático

Se seleccionó un equipo que cumple con las características calculadas anteriormente para la bomba y el tanque.

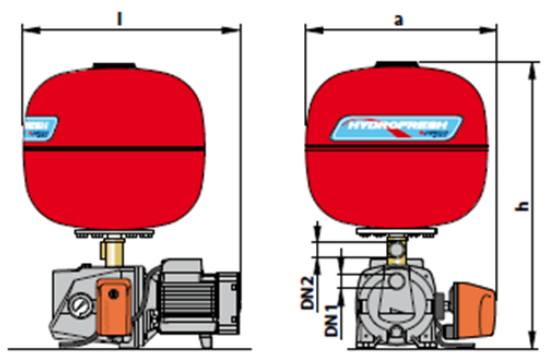


Figura 20. Sistema hidroneumático
Fuente: <http://pedrollo.com.co/es/productos>

Tabla 25. Especificación técnicas del equipo

PRESTACIONES				
MODELO	POTENCIA		CAUDAL (1) litros/min	AJUSTE (2) bar
	kW	HP		
HYDROFRESH 5VT				
PKm 60 - 05 VT	0.37	0.50	32	1.4 ÷ 2.8
JSWm 1CX - 05 VT	0.37	0.50	45	1.2 ÷ 2.6
JSWm 1BX - 05 VT	0.50	0.70	50	1.4 ÷ 2.8
JSWm 1AX - 05 VT	0.60	0.85	50	1.8 ÷ 3.2
HYDROFRESH 24 SF				
PKm 60 - 24 SF	0.37	0.50	32	1.4 ÷ 2.8
PKm 65 - 24 SF	0.50	0.70	40	1.5 ÷ 3.0

Fuente: <http://pedrollo.com.co/es/productos>



MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm			PESO
		DN1	DN2	l	a	h	kg
PKm 60	- 24 SF	1"	1"	360	390	522	12.5
PKm 65	- 24 SF	1"	1"	373	390	530	13.9

Figura 21. Dimensiones del equipo seleccionado

Fuente: <http://pedrollo.com.co/es/productos>

Especificaciones del equipo seleccionado

- Modelo: PKm 24sf
- Potencia: 0.50Kw (0.7Hp)
- Caudal máximo relativo a la presión mínima : 40L/min
- Rango de presión de trabajo: (20psi-40psi)
-

El equipo incluye:

- Electrobomba monofásica
- Tanque hidroneumático
- Interruptor de presión
- Manómetro
- Tubo flexible
- Conexión en latón
- Cable de alimentación de 1.5m con enchufe shuko
- Control de nivel eléctrico para la bomba (flotador eléctrico de doble función, llenado y vaciado)

5.4.9. Especificaciones generales del sistema hidroneumático

El Sistema Hidroneumático deberá estar construido y dotado de los componentes que se indican a continuación:

- Un tanque de presión, el cual consta entre otros de un orificio de entrada y otro de salida para el agua (en este se debe mantener un sello de agua para evitar la entrada de aire en la red de distribución) y uno para la inyección de aire en caso de faltar el mismo.
- Interruptor eléctrico para detener el funcionamiento del sistema, en caso de faltar el agua en el tanque de almacenamiento (Protección contra marcha en seco).
- Llaves de purga en la tubería de drenaje.
- Válvula de retención en la tubería de descarga de las bombas al tanque Hidroneumático.
- Conexiones flexibles para absorber las vibraciones.
- Llaves de paso entre la bomba y el equipo hidroneumático, y entre éste y el sistema de distribución.
- Manómetro.
- Dispositivo para control automático de la relación aire/agua.
- Interruptores de presión para arranque a presión mínima y parada a presión máxima, arranque aditivo de la bomba en turno y control del compresor.
- Indicador exterior de los niveles en el tanque de presión, para la indicación visual de la relación aire-agua.
- Tablero de potencia y control de los motores.
- Dispositivo de drenaje del tanque hidroneumático con su correspondiente llave de paso.
- Compresor u otro mecanismo que reponga el aire perdido en el tanque hidroneumático.

5.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

5.5.1. Componentes del sistema

Tanque de almacenamiento: Tanque plástico con capacidad de 10m^3 para almacenar el volumen total de agua de enfriamiento de los equipos generado durante una práctica, garantizando así el proceso de enfriamiento.

Sistema de bombeo: Conformado por una bomba de 0.7Hp y un tanque hidroneumático de 200 litros con un rango de presiones de (20psi-40psi), con la función de suministrar al sistema el caudal y la presión requerida la sistema, la puesta en marcha del sistema es dada por las condiciones de nivel del tanque de almacenamiento, la presión y la demanda de caudal de los equipos.

Red de distribución: se construirá en tubería PVC-RDE 21 con un diámetro nominal de 33 mm (1").

Válvula de paso: se instalará una válvula de paso para el control del caudal en el caso de mantenimiento

Válvula reductora de presión: se instalará una válvula reductora de presión a la entrada del sistema para garantizar la óptima operación de los equipos de laboratorio.

Válvula cheque: se instalará válvula antirretorno para evitar que el flujo entre a la tubería de descarga de la bomba.

Válvula solenoide: se instalará una válvula solenoide normalmente abierta, ubicada en la tubería existente a la entrada de agua del laboratorio para automatizar el sistema, la cual será accionada cerrando el paso de agua al sistema en el momento que el tanque de almacenamiento alcance el nivel de operación (Ver descripción de operación y funcionamiento en el numeral 6.3.2) .

Ver localización e instalación de los componentes ver Anexo plano 02

5.5.2. Descripción de la conformacion del sistema.

El sistema está compuesto un sistema de bombeo que se pone en marcha cuando cumple las siguientes condiciones:

El nivel del tanque de almacenamiento es mayor al nivel mínimo de funcionamiento (ver nivel de funcionamiento en el numeral 6.3.2)

La presión en el sistema de la red existente es menor a la requerida por los equipos.

Lo anterior da como condición para que la válvula solenoide se cierre.

Condiciones iniciales del sistema

Válvula solenoide= Normalmente Abierta

Bomba: apagada

Nivel del tanque sin agua

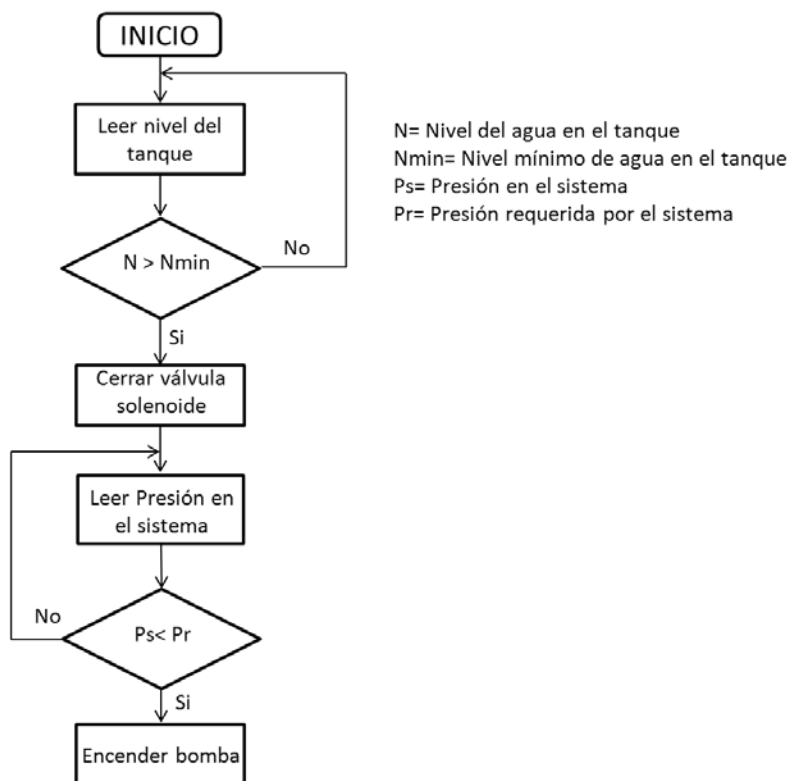


Figura 22. Diagrama de flujo para el encendido de la bomba

En la Figura 23 se muestra los componentes básicos del sistema. Ver también anexo E plano 02

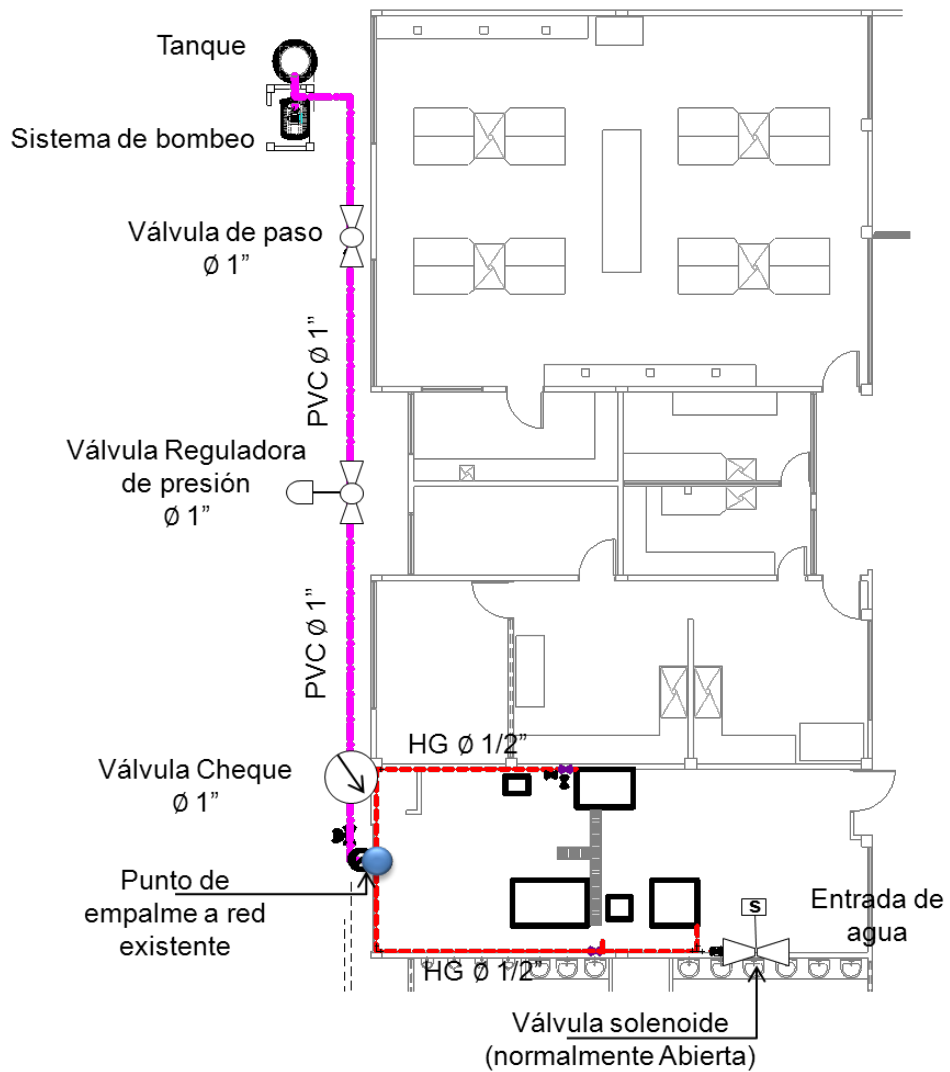


Figura 23. Componentes básicos del sistema implementado

6. SIMULACIÓN HIDRÁULICA ASISTIDA POR COMPUTADOR

6.1. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO

EPANET es un programa asistido por computador gratuito que realiza simulaciones en periodos prolongados de tiempo del comportamiento hidráulico del agua en redes a presión.

Una red puede estar constituida por tuberías, nodos (uniones entre tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses. EPANET efectúa un seguimiento de la evolución de los caudales en las tuberías, las presiones en los nodos, los niveles en los depósitos, a lo largo del periodo de simulación, analizando en múltiples intervalos de tiempo. (Alzamora, 2002)

6.1.1. Características principales de Epanet:

De acuerdo a Alzamora 2002, las características principales son:

- Consideración de las pérdidas de carga.
- Contempla pérdidas menores en codos, accesorios, etc.
- Admite bombas de velocidad fija o variable.
- Permite considerar varios tipos de válvulas, tales como válvulas de corte, de retención, y reductoras/ reguladoras de presión o caudal.
- Admite depósitos de geometría variable (tanques cilíndricos, rectangulares, etc.)
- Considera diferentes tipos de demanda en los nodos.
- Permite modelar tomas de agua cuyo caudal depende de la presión.
- Admite leyes de control simples, basadas en el valor del nivel en los depósitos o en la hora prefijada por un temporizador.

6.1.2. Componentes físicos

EPANET simula un sistema de distribución de agua como una serie de líneas conectadas a nodos.

Los nodos representan conexiones, tanques y depósitos. Las líneas representan tuberías bombas y válvulas de control.

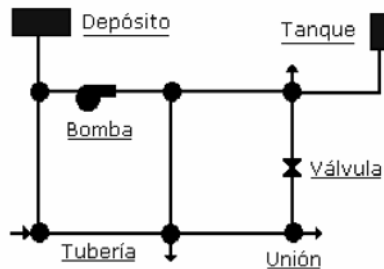


Figura 24. Componentes físicos del sistema

Depósito: Son nodos que representan una fuente externa infinita de agua y son utilizados para modelar lagos, ríos, acuíferos, y conexiones a otros sistemas. Las propiedades básicas de un depósito son su altura piezométrica, que coincidirá con la cota de la superficie libre del agua si este se encuentra a la presión atmosférica, o a la presión manométrica para el caso de una conexión a otro sistema.

Tanque: Son nodos con capacidad de almacenamiento, donde el volumen de agua almacenada puede variar con el tiempo a lo largo de la simulación. Los datos básicos de un tanque son

- Cota solera (Nivel de agua cero)
- Diámetro o su geometría si no es cilíndrico
- Nivel de agua inicial, mínimo y máximo

Los tanques operan limitados a su nivel máximo y mínimo. EPANET impide la salida del tanque cuando está a su nivel mínimo y cierra la entrada de agua cuando a su nivel máximo.

Tuberías: son líneas que transportan el agua de un nudo a otro. EPANET asume que las tuberías están llenas en todo momento y por consiguiente que el flujo es a presión. Los principales parámetros de una tubería son:

- Los nodos inicial y final
- Diámetro
- Longitud
- Coeficiente de rugosidad

Bomba: Son líneas que transmiten energía al fluido. Los datos principales de una bomba son los nodos de aspiración e impulsión y su curva característica de operación.

Válvulas: Son líneas que se utilizan para controlar la presión y el caudal en puntos específicos de la red.

Fuente: Manual de Epanet 2.0 en español

6.1.3. Componentes no físicos

EPANET tiene tres tipos de componentes no físicos que rigen el comportamiento y modo de operación del sistema, estos componentes son: curvas de comportamiento, curvas de modulación y leyes de control.

Curvas de comportamiento: Son curvas que representan dos magnitudes características de un componente físico del sistema, son el caso de las bombas (altura-caudal), para tanques (altura – volumen) y en las válvulas relaciona (pérdidas-caudal)

Curvas de modulación: se aplica cuando se desea variar una magnitud a lo largo del tiempo de simulación. Se utiliza para variar la demanda en los nodos, alturas en los tanques y velocidad de giro en las bombas.

Leyes de control: Son algoritmos que cambian el estado o consigna de una línea con las siguientes condiciones:

- Altura del tanque.
- Presión en un nodo.
- Instante de simulación.

6.2. SIMULACIÓN DEL SISTEMA EXISTENTE

6.2.1. Simulación del sistema existente en periodo simple

En este primer análisis se parte de la red existente para un mayor entendimiento del sistema y se hace una simulación y calibración en la red, esto con el fin de fijar los parámetros iniciales que rigen las condiciones del sistema a implementar. La red está formada por 10 nodos y 10 líneas, cuyas características están contenidas en la Figura 25.

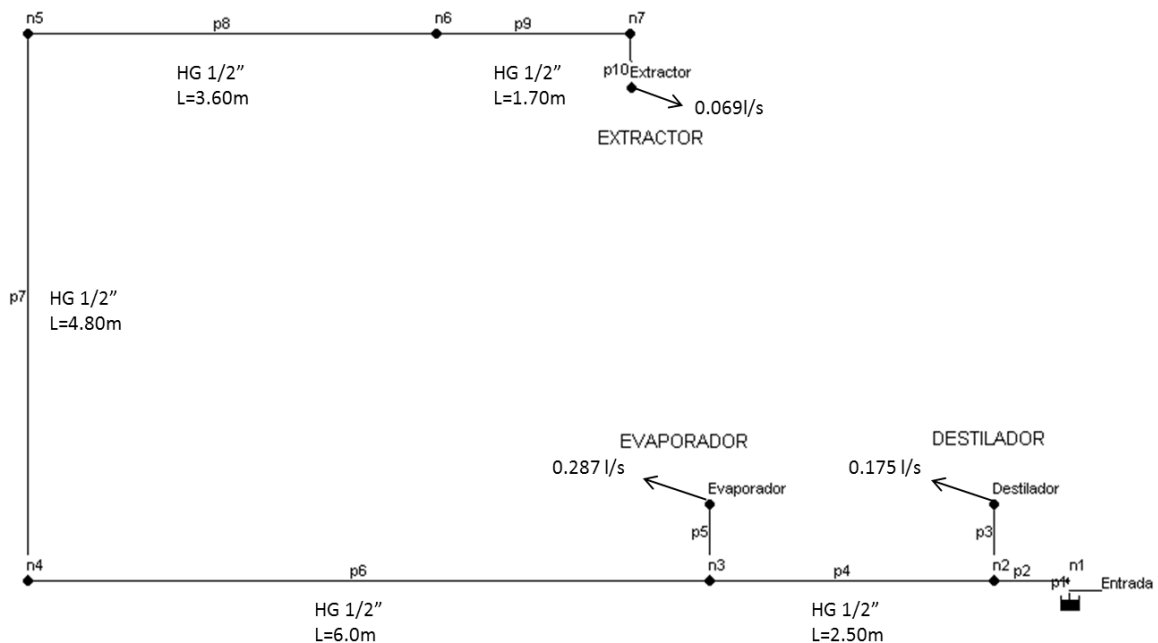


Figura 25. Esquema de la red existente.

Se evalúa el sistema con un solo equipo funcionando a la vez y después todos los equipos en funcionamiento, para visualizar y comparar los cambios de presión y velocidad en la red.

Tras introducir los datos (Ver fichero en anexo C) en EPANET y corriendo el programa se puede visualizar los siguientes resultados:

Simulación con el extractor funcionando, las presiones en los nodos y velocidades en las líneas se encuentran representadas en la Figura 26

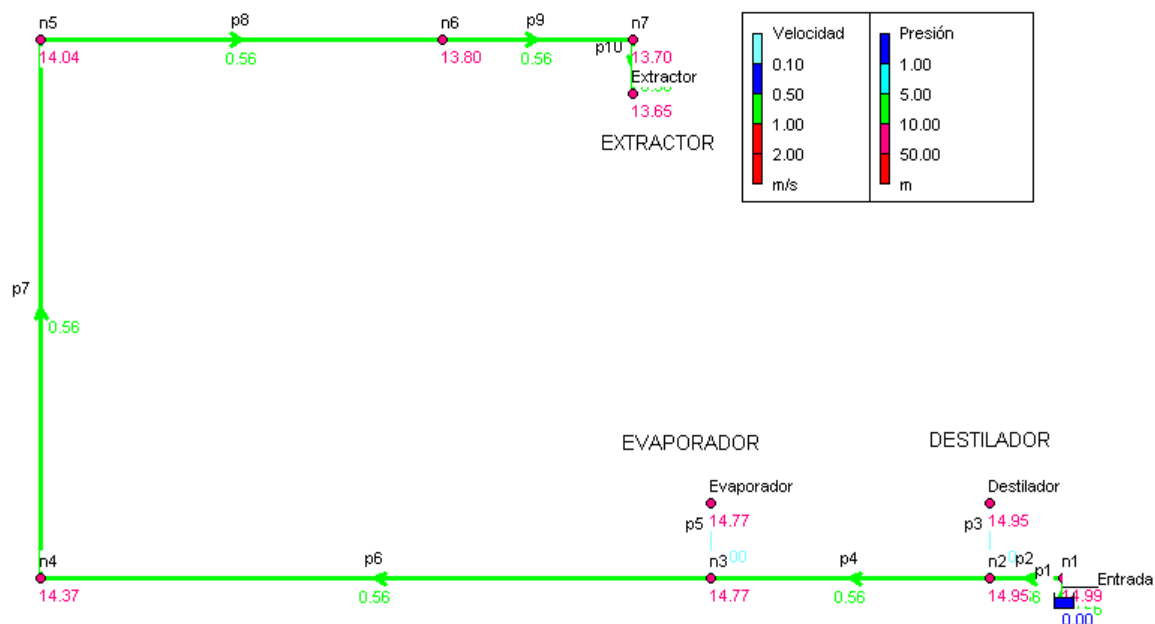


Figura 26. Presiones y velocidades en la red con el extractor en funcionamiento.

En la Tabla 26 se muestran los datos obtenidos de presión y caudal en el momento que el extractor está en funcionamiento.

Tabla 26. Resultados en los nodos y en las líneas con el extractor en funcionamiento.

Resultados en los nodos con el extractor en funcionamiento:			
ID	Demanda	Altura	Presión
Nodo	LPS	m	m
Destilador	0.00	14.95	14.95
n2	0.00	14.95	14.95
n3	0.00	14.77	14.77
n4	0.00	14.37	14.37

n5	0.00	14.04	14.04
n7	0.00	13.70	13.70
Evaporador	0.00	14.77	14.77
n1	0.00	14.99	14.99
Extractor	0.07	13.65	13.65
n6	0.00	13.80	13.80
Entrada	-0.07	15.00	15.00

Resultados en las Líneas con el extractor en funcionamiento:

ID	Caudal	Velocidad	Pérdida	Unid.	Estado
Línea	LPS	m/s	m/km		

p3	0.00	0.00	0.00	Abierta
p4	0.07	0.56	69.76	Abierta
p6	0.07	0.56	66.32	Abierta
p8	0.07	0.56	66.07	Abierta
p5	0.00	0.00	0.00	Abierta
p2	0.07	0.56	62.04	Abierta
p1	0.07	0.56	62.04	Abierta
p10	0.07	0.56	91.61	Abierta
p9	0.07	0.56	62.03	Abierta
p7	0.07	0.56	68.71	Abierta

Fuente: EPANET 2.0

Según los datos obtenidos las presiones y velocidades se encuentran en un rango aceptable debido al bajo consumo que tiene el extractor.

Simulación con el evaporador funcionando, las presiones en los nodos y velocidades en las líneas se encuentran representadas en la Figura 27

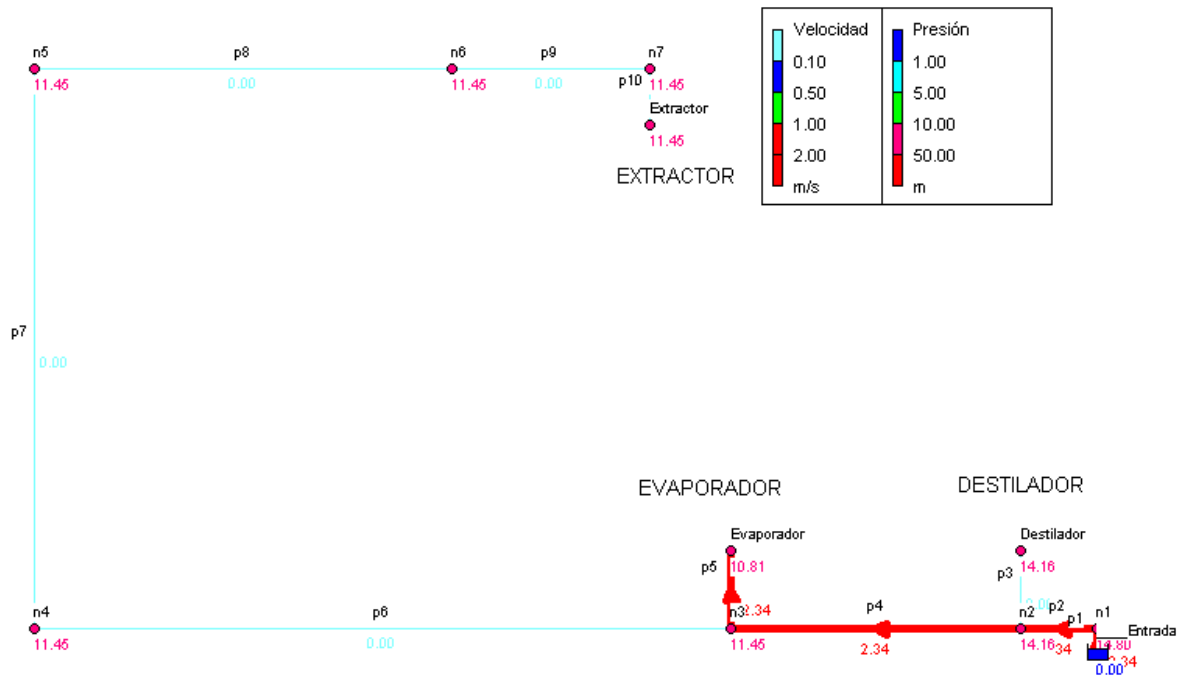


Figura 27. Presiones y velocidades en la red con el evaporador en funcionamiento.

En la Tabla 27 se muestran los datos obtenidos de presión y caudal en el momento que el evaporador está en funcionamiento.

Tabla 27. Resultados en los Nodos y en las líneas con el evaporador en funcionamiento.

Resultados en los nodos con el evaporador en funcionamiento:			
ID	Demanda	Al tura	Presi ón
Nodo	LPS	m	m
Destilador	0. 00	14. 16	14. 16
n2	0. 00	14. 16	14. 16

n3	0.00	11.45	11.45
n4	0.00	11.45	11.45
n5	0.00	11.45	11.45
n7	0.00	11.45	11.45
Evaporador	0.29	10.81	10.81
n1	0.00	14.80	14.80
Extractor	0.00	11.45	11.45
n6	0.00	11.45	11.45
Entrada	-0.29	15.00	15.00
Resultados en las Líneas con el evaporador en funcionamiento:			

ID	Caudal	Velocidad	Pérdida Unit.
Línea	LPS	m/s	m/km

p3	0.00	0.00	0.00
p4	0.29	2.34	1085.41
p6	0.00	0.00	0.00
p8	0.00	0.00	0.00
p5	0.29	2.34	951.68
p2	0.29	2.34	951.69
p1	0.29	2.34	951.69
p10	0.00	0.00	0.00
p9	0.00	0.00	0.00
p7	0.00	0.00	0.00

Fuente: EPANET 2.0

Como puede observarse las presiones y velocidades también se encuentran en un rango aceptable.

Simulación con el destilador funcionando, las presiones en los nodos y velocidades en las líneas se encuentran representadas en la Figura 28

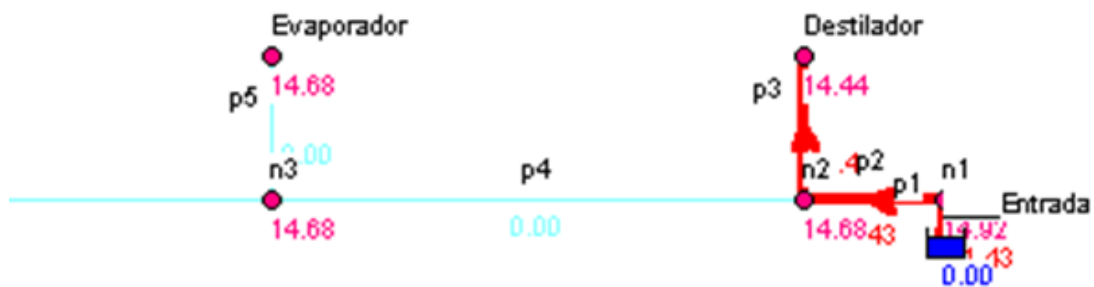


Figura 28. Presiones y velocidades en la red con el destilador en funcionamiento.

En la Tabla 28 se muestran los datos obtenidos de presión y caudal en el momento que el evaporador está en funcionamiento.

Tabla 28. Resultados en los Nodos y en las líneas con el destilador en funcionamiento.

Resultados en los nodos con el destilador en funcionamiento:			
ID	Demanda	Al tura	Presi ón
Nodo	LPS	m	m
Destilador	0. 17	14. 44	14. 44
n2	0. 00	14. 68	14. 68
n3	0. 00	14. 68	14. 68
n4	0. 00	14. 68	14. 68

n5	0. 00	14. 68	14. 68
n7	0. 00	14. 68	14. 68
Evaporador	0. 00	14. 68	14. 68
n1	0. 00	14. 92	14. 92
Extractor	0. 00	14. 68	14. 68
n6	0. 00	14. 68	14. 68
Entrada	- 0. 17	15. 00	15. 00
Resultados en las Líneas con el destilador en funcionamiento:			

ID	Caudal	Veloci dad	Pérdi da Uni t. Estado
Lí nea	LPS	m/s	m/km

p3	0. 17	1. 43	364. 13 Abi erta
p4	0. 00	0. 00	0. 00 Abi erta
p6	0. 00	0. 00	0. 00 Abi erta
p8	0. 00	0. 00	0. 00 Abi erta
p5	0. 00	0. 00	0. 00 Abi erta
p2	0. 18	1. 43	364. 15 Abi erta
p1	0. 18	1. 43	364. 15 Abi erta
p10	0. 00	0. 00	0. 00 Abi erta
p9	0. 00	0. 00	0. 00 Abi erta
p7	0. 00	0. 00	0. 00 Abi erta

Fuente: EPANET 2.0

Como puede observarse las presiones y velocidades también se encuentran en un rango aceptable.

Simulación de la red existente con todos los equipos en funcionamiento las presiones en los nodos y velocidades en las líneas se encuentran representadas en la Figura 29

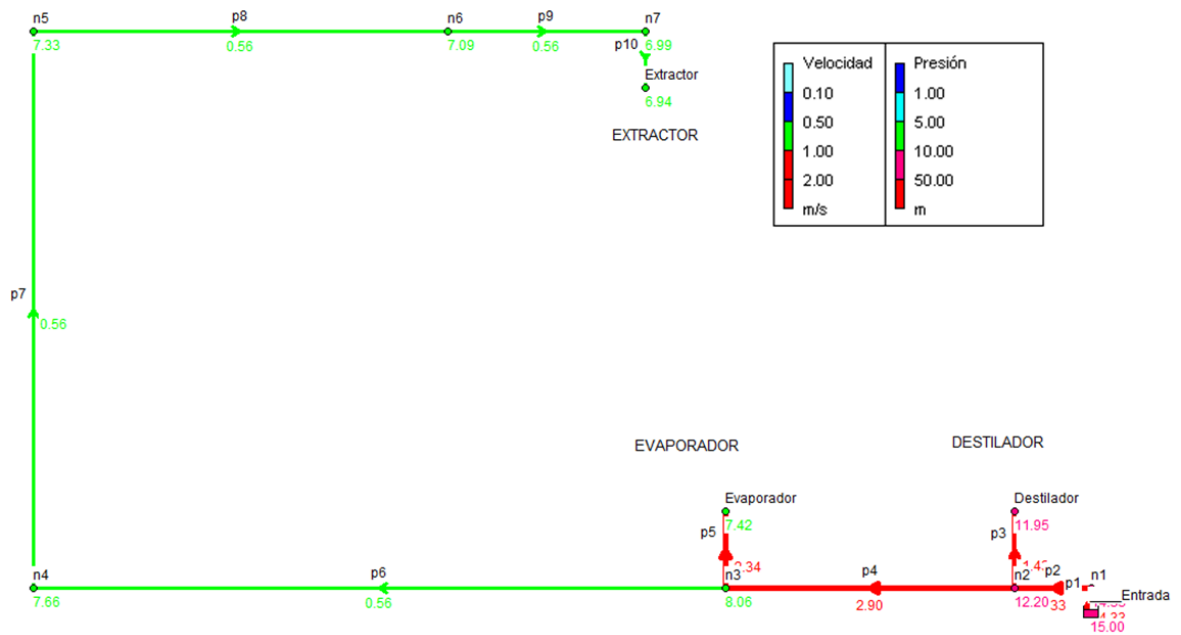


Figura 29. Presiones y velocidades en la red con todos los equipos en funcionamiento.

En la Tabla 29 se muestran los datos obtenidos de presión y caudal en el momento que todos los equipos están en funcionamiento.

Tabla 29. Resultados en los Nodos y en las líneas con todos los equipos en funcionamiento.

Resultados en los nodos con todos los equipos en funcionamiento:			
ID	Demanda	Al tura	Presi ón
Nodo	LPS	m	m
Destilador	0. 17	11. 95	11. 95
n2	0. 00	12. 20	12. 20

n3	0. 00	8. 06	8. 06
n4	0. 00	7. 66	7. 66
n5	0. 00	7. 33	7. 33
n7	0. 00	6. 99	6. 99
Evaporador	0. 29	7. 42	7. 42
n1	0. 00	14. 33	14. 33
Extractor	0. 07	6. 94	6. 94
n6	0. 00	7. 09	7. 09
Entrada	- 0. 53	15. 00	15. 00
Resultados en las Líneas con todos los equipos en funcionamiento:			

ID	Caudal	Vel ocidad	Pérdi da Uni t. Estado
Línea	LPS	m/s	m/km

p3	0. 17	1. 43	364. 13 Abierta
p4	0. 36	2. 90	1656. 32 Abierta
p6	0. 07	0. 56	66. 32 Abierta
p8	0. 07	0. 56	66. 07 Abierta
p5	0. 29	2. 34	951. 67 Abierta
p2	0. 53	4. 33	3183. 43 Abierta
p1	0. 53	4. 33	3183. 42 Abierta
p10	0. 07	0. 56	91. 61 Abierta
p9	0. 07	0. 56	62. 03 Abierta
p7	0. 07	0. 56	68. 71 Abierta

Analizando los valores de las presiones se aprecia que son demasiado bajas comparadas con el funcionamiento de un solo equipo, también se puede observar que las velocidades en determinadas líneas son altas, reiterando así los datos obtenidos anteriormente y la necesidad de ser reemplazados.

6.3. SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN

6.3.1. Descripción de la simulación implementada al sistema.

A partir de los datos que caracterizan la red existente, se obtiene la simulación implementada para el sistema de recirculación de agua de enfriamiento.

Se realizará la simulación para dos periodos de cuatro (4) horas cada uno, tiempo que dura una práctica de laboratorio y que por efectos prácticos se simula en periodo extendido de ocho (8) horas, teniendo en cuenta que el intervalo de tiempo en el que transcurren los dos periodos puede tardar como mínimo un día.

En el primer periodo de cuatro (4) horas, el sistema se alimenta de la red general de agua potable, tiempo en el cual el tanque de almacenamiento alcanza el nivel de operación para entrar en funcionamiento.

En el segundo periodo de cuatro (4) horas, la entrada de agua de la red general es suspendida por medio de leyes de control que simulan la válvula solenoide y ahora el sistema es alimentado desde el tanque de almacenamiento e impulsado por medio de una bomba que suministrará a los equipos la demanda y la presión requerida.

La presión máxima en la red de distribución es controlada por una válvula reductora de presión con una consigna de 21mca.

6.3.2. Características de los componentes del sistema.

A continuación se presenta la conformación del sistema generada en EPANET la cual está formada por los componentes contenidos en la Tabla 30 y representados en la Figura 30.

Tabla 30. Cuadro de componentes del sistema

Número de Nodos Caudal:	21
Número de Embalses:	1
Número de Depósitos:	1
Número de Tuberías:	20
Número de Bombas:	1
Número de Válvulas:	1
Unidades de Caudal:	LPS
Fórmula Pérdidas Carga:	Darcy Weisbach

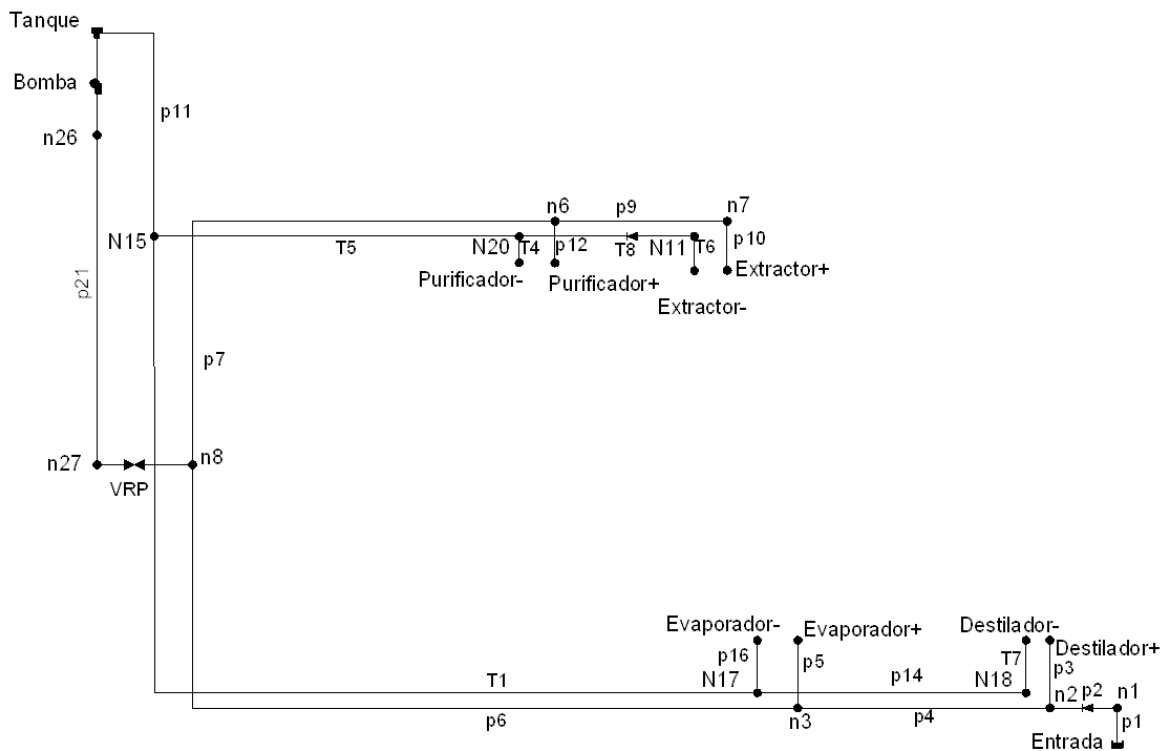


Figura 30. Esquema de conformación del sistema de recirculación

A continuación se presenta los componentes más importantes del sistema generados en el fichero de datos de EPANET (ver fichero completo en ANEXO C) en el cual se detallan las características de cada elemento.

[Nodos]

Los parámetros principales de los nodos son la altura y la demanda, para la conformación general de la simulación el nodo (purificador+) tendrá una demanda de cero (0) en el segundo periodo de simulación, ya que se asume que la entrada de agua es directamente de la red de acueducto e independiente del sistema de recuperación de agua de enfriamiento.

D Nodo	Cota	Demanda
Destilador+	0	0.175
Destilador-	0	-0.175
Evaporador+	0	0.287
Evaporador-	0	-0.287
Purificador+	0	0.000
Purificador-	0	-0.008
Extractor+	0	0.069
Extractor-	0	-0.069
N20	0	0
n2	0	0
n3	0	0
n8	0	0
n7	0	0
N11	0	0
N15	0	0
N17	0	0
N18	0	0
n26	0	0
n27	0	0
n1	0	0
n6	0	0

[Tubería]

ID	Nodo	Nodo	Longitud	Diámetro	Rugo	Pérdidas
Línea	Inicial	Final	m	mm	sidad	menores (m)
p12	n6	Purificador+	0.41	12.5	0.15	0.00

p3	n2	Destilador+	0.67	18.18	0.0015	0.00
p4	n2	n3	3.17	18.18	0.0015	1.20
T8	N11	N20	1.737	18.18	0.0015	0.00
p11	N15	Tanque	20	23.63	0.0015	0.00
p14	N18	N17	2.6	18.18	0.0015	1.80
p16	Evaporador-	N17	0.52	18.18	0.0015	0.00
p21	n26	n27	21.3	30.2	0.0015	4.95
p5	n3	Evaporador+	0.1	18.18	0.0015	0.00
p2	n1	n2	1	18.18	0.0015	1.20
p1	Entrada	n1	0.21	12.5	0.15	0.00
T5	N20	N15	3.62	18.18	0.0015	5.80
p10	n7	Extractor+	0.01	12.5	0.15	0.00
T6	N11	Extractor-	0.34	18.18	0.0015	0.00
p9	n6	n7	2.2	12.5	0.15	1.40
p6	n8	n3	8.41	18.18	0.0015	1.60
p7	n8	n6	6	12.5	0.15	1.05
T1	N17	N15	10.1	18.18	0.0015	5.80
T4	Purificador-	N20	0.08	18.18	0.0015	0.00
T7	Destilador-	N18	0.52	18.18	0.0015	0.00
Bomba	Tanque	n26	Sin Valor	Bomba		
VRP	n27	n8	Válvula	30.20		

[TANQUE]

Los parámetros principales del tanque de almacenamiento son: el diámetro y los niveles de operación,

A continuación se hace un análisis detallado para hallar los parámetros principales de operación.

Volumen total del tanque $V=10\text{m}^3$

Altura del nivel máximo de agua en el tanque $L=2.40\text{m}$

Caudal de entrada= 0.54 L/s

Caudal de salida= 0.53L/s

Cálculo del diámetro del tanque

$$V = A * L$$

$$A = \frac{V}{L}$$

$$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{V}{L}$$

$$D = 2 \sqrt{\frac{V}{\pi * L}} \quad \text{Ec. 12}$$

$$D = 2 \sqrt{\frac{1000m^3}{\pi * 2.40m}}$$

$$D=2.30m$$

De lo anterior, se asume para la simulación un tanque circular de diámetro 2.30m

Cálculo del volumen (V_2) y nivel (L_2) que alcanza el agua al finalizar una practica de 4 horas

$$V_2 = Q_{entrada} * T \quad \text{Ec. 13}$$

$$L_2 = \frac{V_2}{A}$$

$$V_2 = 0.54 \frac{L}{s} * 4 * 3600s$$

$$V_2=7.776 m^3$$

$$A = \frac{\pi (2.30)^2}{4}$$

$$A=4.15m^2$$

$$L_2 = \frac{7.776m^3}{4.15m^2}$$

$$L_2= 1.87m$$

Dadas las condiciones reales presentadas en campo, tales como tiempo de operación de los equipos de laboratorio, instalación del sistema de recirculación, geometría del tanque, entre otras. La altura de 1.87m deberá se revisada y ajustada en campo a los parámetros reales, esto con el fin de que los equipos instalados funcionen correctamente.

Cálculo caudal y el volumen remanente

Teniendo en cuenta que existe un caudal remanente, esto debido a que el caudal de entrada es mayor al caudal de salida, el tanque alcanzará el nivel máximo (L=2.40m) en un periodo de tiempo, cuando esto ocurra debe hacerse un proceso de purga, para sacar todos los sedimentos que se pueden producir durante las prácticas y de igual manera volver a los parámetros iniciales de operación del sistema.

Caudal remanente

$$Q_{remanente} = Q_{entrada} - Q_{salida} \quad \text{Ec. 14}$$

$$Q_{remanente} = 0.54 \frac{L}{s} - 0.53 \frac{L}{s}$$

$$Q_{rem} = 0.01 \frac{L}{s}$$

Volumen remanente

$$V_{rem} = A * (L_{total} - L_2) \quad \text{Ec. 15}$$

$$V_{rem} = 4.15m^2 * (2.40m - 1.87m)$$

$$V_{rem} = 2.20m^3$$

Cálculo de tiempo para hacer el proceso de purga en el tanque de almacenamiento.

$$T = \frac{V_{rem}}{Q_{rem}} \quad \text{Ec. 16}$$

$$T = \frac{2200L}{0.01 \frac{L}{s}} = 220000s$$

$T=61.1$ horas

El tiempo que tarda en llenarse el tanque es de 61.1 horas

Numero de practicas= $61.1 \text{ Horas} / 4 \text{ horas} * \text{practica}$

$N=15$ practicas

De lo anterior se concluye que la purga del tanque debe hacerse cada 15 practicas y llevar el nivel de agua al estado inicial de 1.87m, arrojando el volumen remanente de 2.20 m^3 para reiniciar el proceso de recirculacion de agua de enfriamiento.

Para hacer el proceso de purga en el tanque, se debe abrir la válvula de lavado y dejar que el tanque se vacíe hasta que el nivel de agua disminuya a una altura de 1.87m.

La válvula solenoide será accionada, cerrando el paso de agua potable al sistema cuando el nivel del tanque alcance la altura de 1.87m, altura que debe ser chequeada y ajustada en campo dado las condiciones reales de operación del sistema.

Con todos los parámetros del tanque calculados se procede a ingresarlos a el programa EPANET

[TANQUE]

;ID Nodo	Cota	Nivel Inicial	Nivel Mínimo	Nivel Máximo	Diámetro m	Volumen Mínimo
Tanque	0	0	0	2.45	2.30	0

CURVA DE LA BOMBA

De datos obtenidos de la curva de la bomba, suministrada por el fabricante se procede a ingresarlos a el programa EPANET

[CURVA BOMBA]

ID	Curva	Valor X	Valor Y
PUMP:			
1		0	55

1	0.083	50
1	0.167	45.5
1	0.25	40.5
1	0.333	36
1	0.417	31
1	0.5	27
1	0.583	22
1	0.667	17
1	0.833	8

[LEYES DE CONTROL]

Se plantea 3 consignas para la simulación

- La bomba se encuentra apagada a las 0 horas de la simulación
LINK Bomba CLOSED AT CLOCKTIME 0 AM
- La bomba entra en funcionamiento a las 4 horas de la simulación
LINK Bomba OPEN AT CLOCKTIME 4.00 am
- Cerrar la entrada de agua línea p1 (línea que simulará la válvula solenoide)
cuando el nivel de agua exceda los 1.87m
LINK p1 CLOSED IF NODE Tanque ABOVE 1.87

[TIEMPO]

Duración total	08:00 h
Intervalo cálculo hidráulico	01:00 h
Intervalo curva de modulación	01:00 h
Hora inicio curva de modulación	00:00 h
Intervalo de resultado	01:00 h
Hora real de inicio	12:00 AM

[VÁLVULA]

;ID línea	Nodo Aguas Arriba	Nodo Aguas Abaja	Diámetro mm	Tipo	Consigna m
VRP	n27	n8	18.18	Reductora de presión	21

6.3.3. Datos obtenidos del programa

6.3.3.1. Análisis de los resultados a las 0.00 horas de la simulación

Al correr el programa EPANET se puede visualizar los resultados para el primer periodo. Las presiones y caudales en los nodos están representados en la Figura 31 y en la Tabla 31. Velocidades en las líneas, representadas en la Figura 32 y Tabla 32 respectivamente.

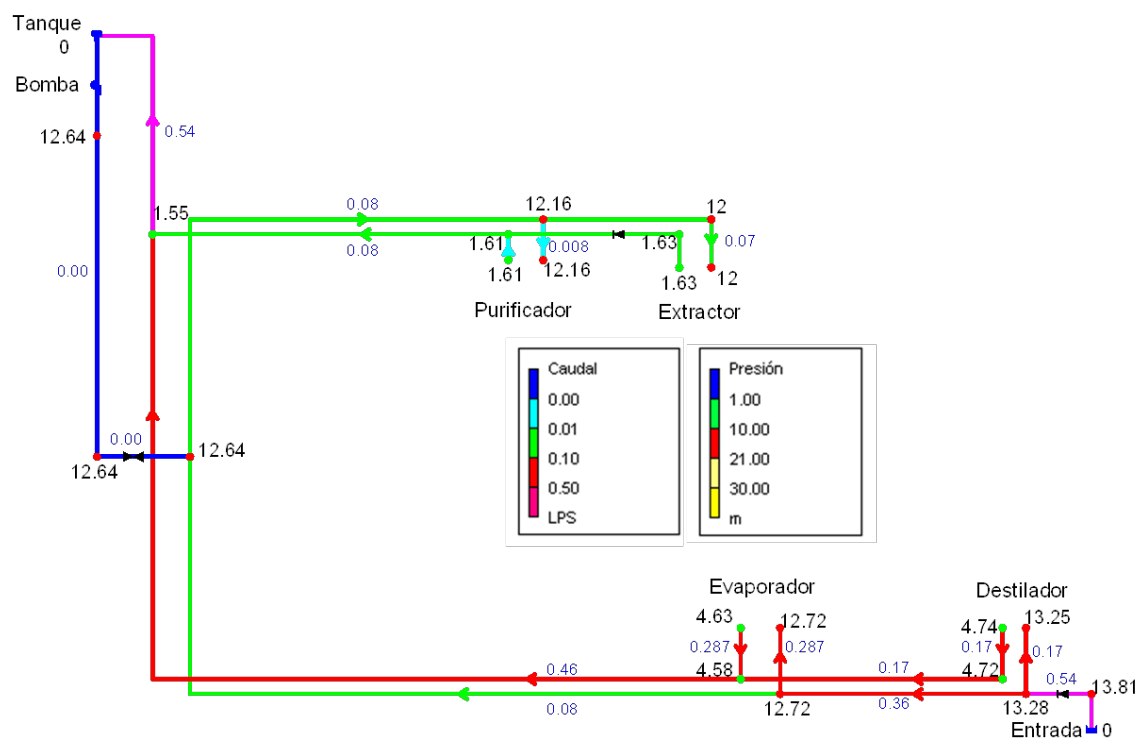


Figura 31. Presiones (mca) y caudales (L/s) a las 0:00 horas

Tabla 31. Estado de los Nodos de la Red a las 0:00 Horas:

ID Nodo	Demanda LPS	Presi ón m
Nodo Puri fi cador+	0. 01	12. 16
Nodo Puri fi cador-	- 0. 01	1. 61
Nodo N20	0. 00	1. 61
Nodo Destil ador+	0. 17	13. 25
Nodo n2	0. 00	13. 28
Nodo n3	0. 00	12. 72
Nodo n8	0. 00	12. 64
Nodo n7	0. 00	12. 00
Nodo N11	0. 00	1. 63
Nodo N15	0. 00	1. 55
Nodo N17	0. 00	4. 58
Nodo N18	0. 00	4. 72
Nodo Destil ador-	- 0. 17	4. 74
Nodo Evaporador-	- 0. 29	4. 63
Nodo n26	0. 00	12. 64
Nodo n27	0. 00	12. 64
Nodo Evaporador+	0. 29	12. 72
Nodo n1	0. 00	13. 81
Nodo Extractor+	0. 07	12. 00
Nodo Extractor-	- 0. 07	1. 63
Nodo n6	0. 00	12. 16
Embalse Entrada	- 0. 54	14. 50
Depósi to Tanque	0. 54	0. 00

En la red inicial, alimentada desde el acueducto principal, las presiones en el extractor eran muy bajas, esto debido a las pérdidas ocasionadas en la tubería de hierro galvanizado (HG), y como puede observarse en los datos arrojados por la simulación la presión a la entrada del nodo (extractor+) aumentó de 6.94mca a 12mca con el cambio de tubería a PVC, garantizando así que el nodo más crítico cumpla con la presión mínima, se puede garantizar que todo el sistema cumple con las condiciones mínimas de presión para su correcto funcionamiento.

Además se puede observar que el tanque está en su nivel mínimo, y la presión requerida para empezar a llenar el tanque se encuentra a la salida de cada equipo representado por los nodos: Destilador-, Evaporador-, Purificador- y Extractor.

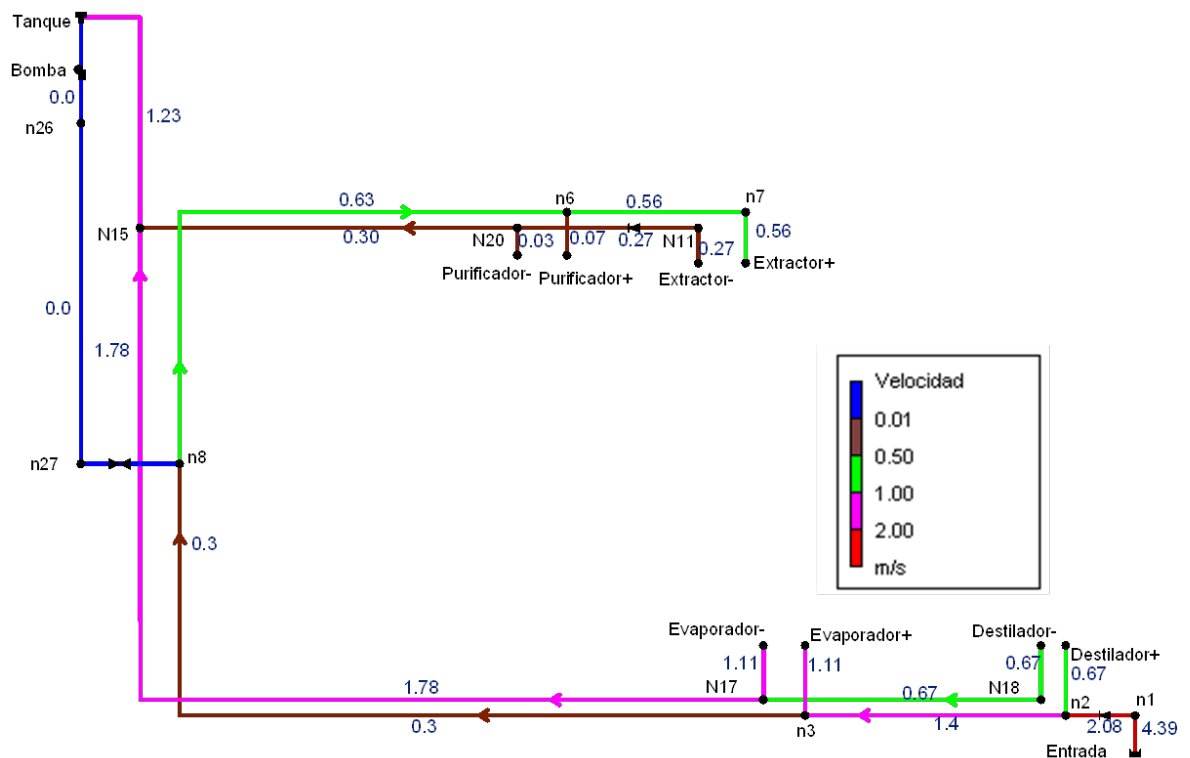


Figura 32. Velocidades 0:00 horas

Tabla 32. Estado de las Líneas de la Red a las 0:00 Horas

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Factor Fricción	Pérdida Uni t. m/km
Tubería p12	0.01	0.07	0.080	1.39
Tubería p3	0.17	0.67	0.030	37.75
Tubería p4	0.36	1.40	0.025	173.86
Tubería T8	0.07	0.27	0.039	7.64
Tubería p11	0.54	1.23	0.024	77.73
Tubería p14	0.17	0.67	0.030	53.77
Tubería p16	0.29	1.11	0.026	89.50
Tubería p21	0.00	0.00	0.000	0.00
Tubería p5	0.29	1.11	0.026	89.49
Tubería p2	0.54	2.08	0.023	535.85
Tubería p1	0.54	4.39	0.042	3278.81
Tubería T5	0.08	0.30	0.037	16.39
Tubería p10	0.07	0.56	0.048	61.97
Tubería T6	-0.07	0.27	0.039	7.64
Tubería p9	0.07	0.56	0.048	72.28
Tubería p6	-0.08	0.30	0.037	10.06
Tubería p7	0.08	0.63	0.047	79.69
Tubería T1	0.46	1.78	0.023	299.80
Tubería T4	0.01	0.03	0.117	0.31
Tubería T7	0.17	0.67	0.030	37.75
Bomba	0.00	0.00	0.000	0.00
Válvula VRP	0.00	0.00	0.000	0.00

De los datos obtenidos en cuanto a las velocidades, anteriormente se tenía valores elevados, ahora solo la máxima velocidad es de 1.40m/s en la tubería p4 de la red principal.

6.3.3.2. Análisis de los resultados a las 4.00 horas de la simulación

Para el segundo periodo de la simulación, con la entrada de la bomba en funcionamiento, las presiones y los caudales en los nodos están representados en la Figura 33 y en la Tabla 33. Las velocidades en las líneas representadas la Figura 36 y en la Tabla 34 respectivamente.

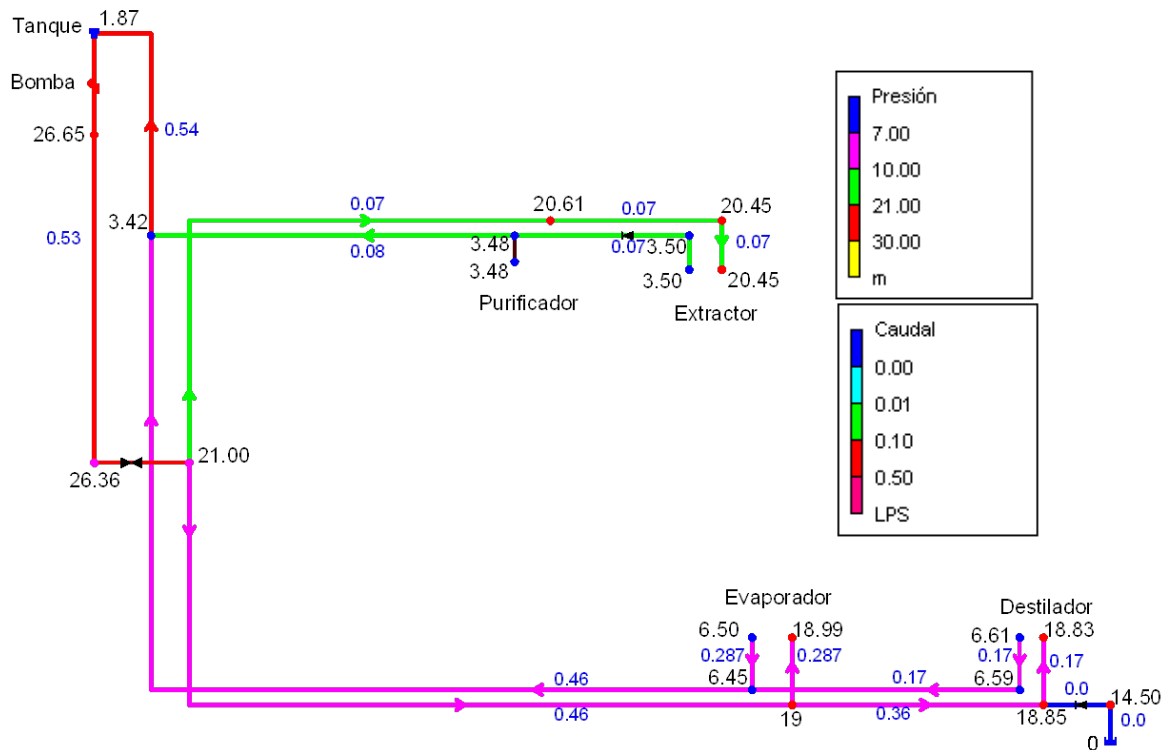


Figura 33. Presiones y caudales 4:00 horas

Id Nudo	Demanda L/s	Presión m
Nudo Purificador-	- 0.01	3.48
Nudo N20	0.00	3.48
Nudo Destilador+	0.17	18.83
Nudo n2	0.00	18.85
Nudo n3	0.00	19.00
Nudo n8	0.00	21.00
Nudo n7	0.00	20.45
Nudo N11	0.00	3.50
Nudo N15	0.00	3.42

Nudo N17	0.00	6.45
Nudo N18	0.00	6.59
Nudo Destilador-	-0.17	6.61
Nudo Evaporador-	-0.29	6.50
Nudo n26	0.00	27.00
Nudo n27	0.00	26.36
Nudo Evaporador+	0.29	18.99
Nudo n1	0.00	14.50
Nudo Extractor+	0.07	20.45
Nudo Extractor-	-0.07	3.50
Nudo n6	0.00	20.61
Embalse Entrada	0.00	0.00
Depósito Tanque	0.01	1.87

Tabla 33. Estado de los Nodos de la Red a las 4:00 Horas

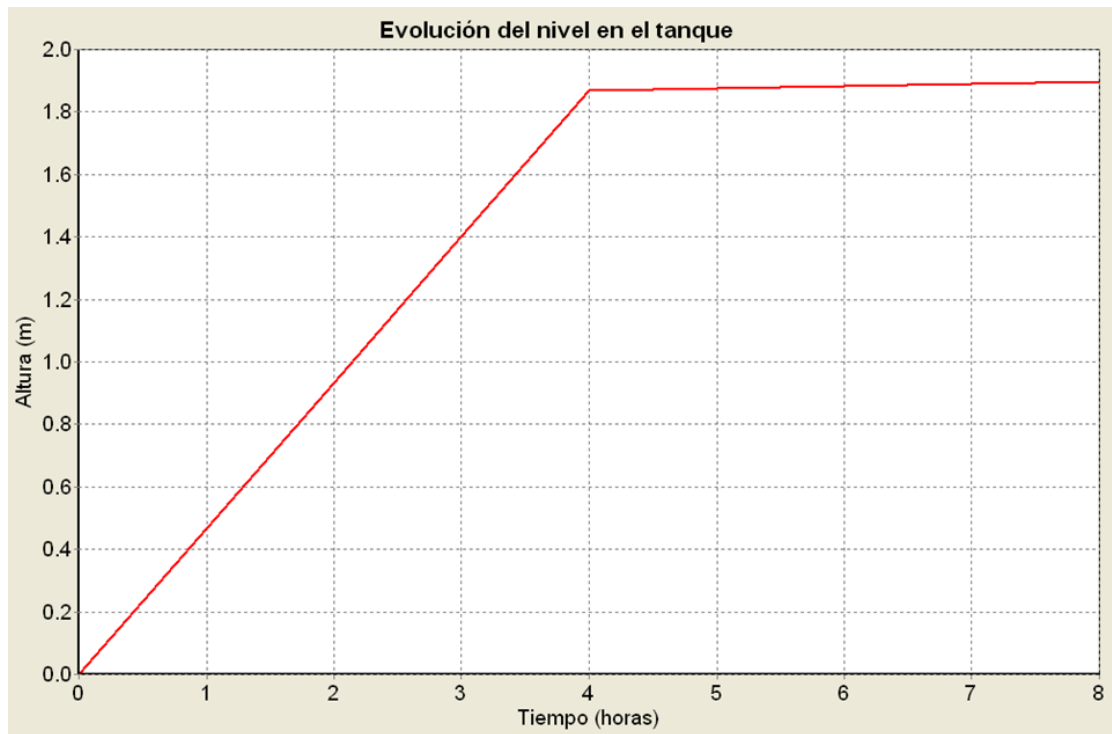


Figura 34. Gráfica de la evolución del nivel del tanque (Altura vs Tiempo)

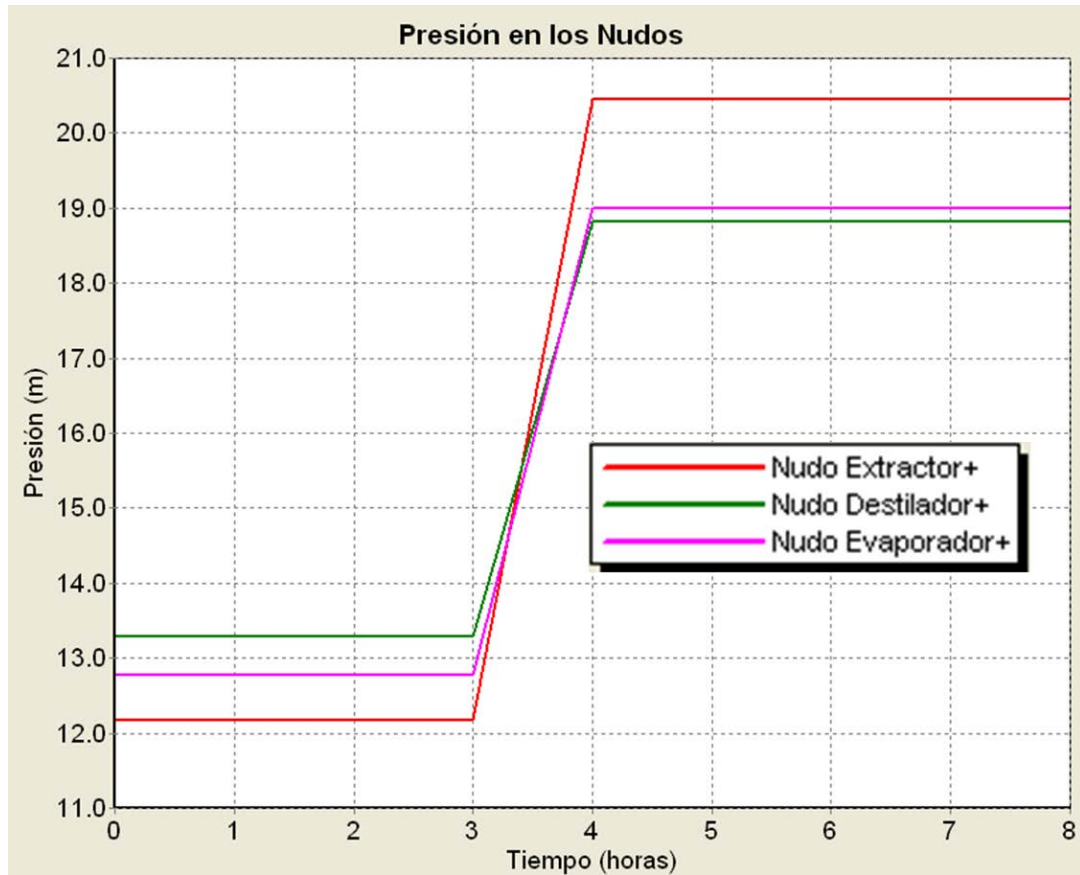


Figura 35. Gráfica de evolución de la presión en los equipos de trabajo (Presión vs tiempo)

Como puede observarse el tanque alcanza el nivel de funcionamiento de 1.87m a las 4 horas para que la bomba entre en funcionamiento. Suministrando al sistema en el punto de empalme (nodo 27) una presión de 26.36mca, la cual debe ser regulada mediante una válvula para que la presión en los equipos no sobrepasen una altura de 21mca y garantizar su óptimo funcionamiento.

A continuación se muestra las velocidades en las tuberías a las 4.00 horas de la simulación ver Figura 36



ID	Caudal	Velocidad	Factor	Pérdida Uni t.
Línea	LPS	m/s	Fricción	m/km
Tubería p3	0.17	0.67	0.03	37.75
Tubería p4	-0.18	0.67	0.037	46.51
Tubería T8	0.07	0.27	0.039	7.64
Tubería p11	0.54	1.23	0.024	77.73
Tubería p14	0.17	0.67	0.042	53.77
Tubería p16	0.29	1.11	0.026	89.5
Tubería p21	0.53	0.74	0.032	30.02
Tubería p5	0.29	1.11	0.026	89.49
Tubería p2	0	0	0	0
Tubería p1	0	0	0	0
Tubería T5	0.08	0.3	0.066	16.39
Tubería p10	0.07	0.56	0.048	62.09

Tuberí a T6	- 0. 07	0. 27	0. 039	7. 64
Tuberí a p9	0. 07	0. 56	0. 056	72. 28
Tuberí a p6	0. 46	1. 78	0. 027	237. 84
Tuberí a p7	0. 07	0. 56	0. 05	64. 85
Tuberí a T1	0. 46	1. 78	0. 034	299. 8
Tuberí a T4	0. 01	0. 03	0. 116	0. 31
Tuberí a T7	0. 17	0. 67	0. 03	37. 75
Bomba				
Bomba	0. 53	0	0	- 25. 13
Vál vul a				
VRP	0. 53	0. 74	0	5. 36

De los datos obtenidos en las tuberías, la velocidad máxima que alcanzará el sistema es de 1.78 m/s, la cual no sobrepasa la velocidad recomendada por el fabricante (PAVCO) que es de 2.0m/s, garantizando así, un óptimo funcionamiento del sistema.

7. CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema de recuperación de agua de enfriamiento y sobrante proveniente de los equipos de destilación, evaporación, extracción Soxhlet, y purificación de agua por ósmosis inversa, utilizados en los laboratorios de Química de la Universidad Tecnológica de Pereira.
- Se propone optimizar el sistema existente de agua de entrada potable proveniente del acueducto.
- Se simuló el sistema bajo las condiciones críticas arrojando resultados óptimos de funcionamiento.
- Se propone automatizar el sistema de recuperación de agua de enfriamiento para una mayor eficiencia de los componentes que intervienen en el proceso.
- El sistema propuesto daría solución al problema de mal uso del agua, recuperando un volumen considerable del vital líquido, y da pie a la concienciación y ejemplo para futuros proyectos que se deseen implementar.

8. RECOMENDACIONES

- Realizar mantenimiento periódico de los componentes del sistema.
- Tomar presiones a la entrada de los equipos periódicamente.
- Revisar conexiones de la válvula solenoide.
- Revisar el ajuste de la válvula de reguladora de presión.
- Realizar ajustes en los niveles de operación en el tanque de acuerdo a las necesidades propias del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALZAMORA, Fernando. (2002). *Manual de EPANET 2.0 en español*. Valencia España: Universidad Politécnica de Valencia.
2. FILIÁN, G. (2004). *Utilización del EPANET a un sistema de agua potable [Proyecto de grado]*. Ecuador: Escuela superior politécnica del litoral, Facultad de ingeniería en ciencias de la tierra.
3. GARCÍA Alcaraz, M. (2006). *Modelación y simulación de redes hidráulicas a presión mediante herramientas informáticas [Tesis de grado]*. Cartagena, Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena, Ingeniería técnica de obras públicas.
4. <http://colempaques.com>. (s.f.).
5. <http://epanet.info/category/tutoriales/>. (s.f.).
6. <http://pedrollo.com.co/es/productos>. (s.f.).
7. INDUSTRIAS QUIMICAS FIQ LTDA. (2003). *Manual de operación y mantenimiento, Unidad de evaporación de doble efecto*. Bogotá.
8. INDUSTRIAS QUIMICAS FIQ LTDA. (2005). *Manual de operación y mantenimiento, Unidad de destilación multipropósito*. Bogotá.
9. INDUSTRIAS QUIMICAS FIQ LTDA. (2011). *Manual de operación y mantenimiento. Unidad de extracción soxhlet*. Bogotá.
10. LABORATORIO DE LA ESCUELA DE QUIMICA. (2012). *Manual de operación y mantenimiento. Destilador por ósmosis inversa*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
11. MATAIX, C. (1982). *Mecánica de fluidos y Máquinas Hidráulicas*. 2 ed. Bogota: Editorial Harla.
12. NIÑO, J. Roberto y DUARTE, Carlos. (2007). *Hidráulica de tuberías y Máquinas Hidráulicas*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

13. PAVCO, Manual técnico. (2008. 14 p.). *Tubosistemas para acueducto de alta presión*. Bogotá: Sn.
14. SالدARRIAGA, Juan. (2003). *Diseño de redes internas de alta tecnología*. Bogotá: Universidad de los Andes, Centro de investigación en Acueductos y alcantarillados.
15. SالدARRIAGA, Juan. (2007). *Hidráulica de tubería, Abastecimiento de agua, Redes, Riego*. Bogotá: Alfaomega.Universidad de los Andes.

ANEXOS

ANEXO A. Tablas

Anexo 1A. Propiedades físicas del agua en unidades SI

Temperatura °C	Peso específico γ (N/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad $\mu \times 10^{-3}$ N.s/m ²	Viscosidad cinemática $\nu \times 10^{-6}$ m ² /s	Tensión superficial $\sigma \times 10^2$ N/m	Altura absoluta de presión de vapor P_v/γ	Módulo elasticidad $K \times 10^7$ N/m ²	Conductividad térmica K W/m.k
0	9806	999.9	1.792	1.792	7.62	0.06	204	0.561
5	9807	1000.0	1.519	1.519	7.54	0.09	206	0.571
10	9804	999.7	1.308	1.308	7.48	0.12	211	0.580
15	9798	999.1	1.140	1.141	7.41	0.17	214	0.589
20	9789	998.2	1.005	1.007	7.36	0.25	220	0.598
25	9778	997.1	0.894	0.897	7.26	0.33	222	0.607
30	9764	995.7	0.801	0.804	7.18	0.44	223	0.615
35	9749	994.1	0.723	0.727	7.10	0.58	224	0.623
40	9730	992.2	0.656	0.661	7.01	0.76	227	0.630
45	9711	990.2	0.599	0.605	6.92	0.98	229	0.637
50	9690	988.1	0.549	0.556	6.82	1.26	230	0.643
55	9666	985.7	0.506	0.513	6.74	1.61	231	0.649
60	9642	983.2	0.469	0.477	6.68	2.03	228	0.654
65	9616	980.6	0.436	0.444	6.58	2.56	226	0.659
70	9589	977.8	0.406	0.415	6.50	3.20	225	0.663
75	9560	974.9	0.380	0.390	6.40	3.96	223	0.667
80	9530	971.8	0.357	0.367	6.30	4.86	221	0.670
85	9499	968.6	0.336	0.347	6.20	5.93	217	0.673
90	9466	965.3	0.317	0.328	6.12	7.18	216	0.675
95	9433	961.9	0.299	0.311	6.02	8.62	211	0.677
100	9399	958.4	0.284	0.296	5.94	10.33	207	0.679

Fuente: Hidráulica de tuberías, Abastecimiento de agua, redes y riego

Anexo 2A. Coeficientes de pérdidas en accesorios y codos

Accesorio	k_m
Válvula de globo, completamente abierta	10.0
Válvula en ángulo, completamente abierta	5.0
Válvula de cheque, completamente abierta	2.5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.2
Válvula de compuerta, con 3/4 de apertura	1.00-1.15
Válvula de compuerta, con 1/2 de apertura	5.6
Válvula de compuerta, con 1/4 de apertura	24.0
Codo de radio corto ($r/d \pm 5$ a 1)	0.9
Codo de radio mediano	0.75-0.80
Codo de gran radio ($r/d \pm 5$ a 1.5)	0.6
Codo de 45°	0.4-0.42
Retorno (curva en U)	2.2
Tee en sentido recto	0.3
Tee a través de la salida lateral	1.8
Unión	0.3
Yc de 45°, en sentido recto	0.3
Yc de 45°, salida lateral	0.8
Entrada recta a tope	0.5
Entrada con boca acampanada	0.1
Entrada con tubo reentrante	0.9
Salida	1.0

Fuente: Hidráulica de tuberías, Abastecimiento de agua, redes y riego.

Anexo 3A. Rugosidad absoluta para diferentes materiales

Material	K_s (mm)
Vidrio	0.0003
PVC, CPVC	0.0015
Asbesto cemento	0.03
GRP	0.03
Acero	0.046
Hierro forjado	0.06
CCP	0.12
Hierro fundido asfaltado	0.12
Hierro galvanizado	0.15
Arcilla vitrificada	0.15
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Madera cepillada	0.18-0.9
Concreto	0.3-3.0
Acero bridado	0.9-9

Fuente: Hidráulica de tuberías, Abastecimiento de agua, redes y riego.

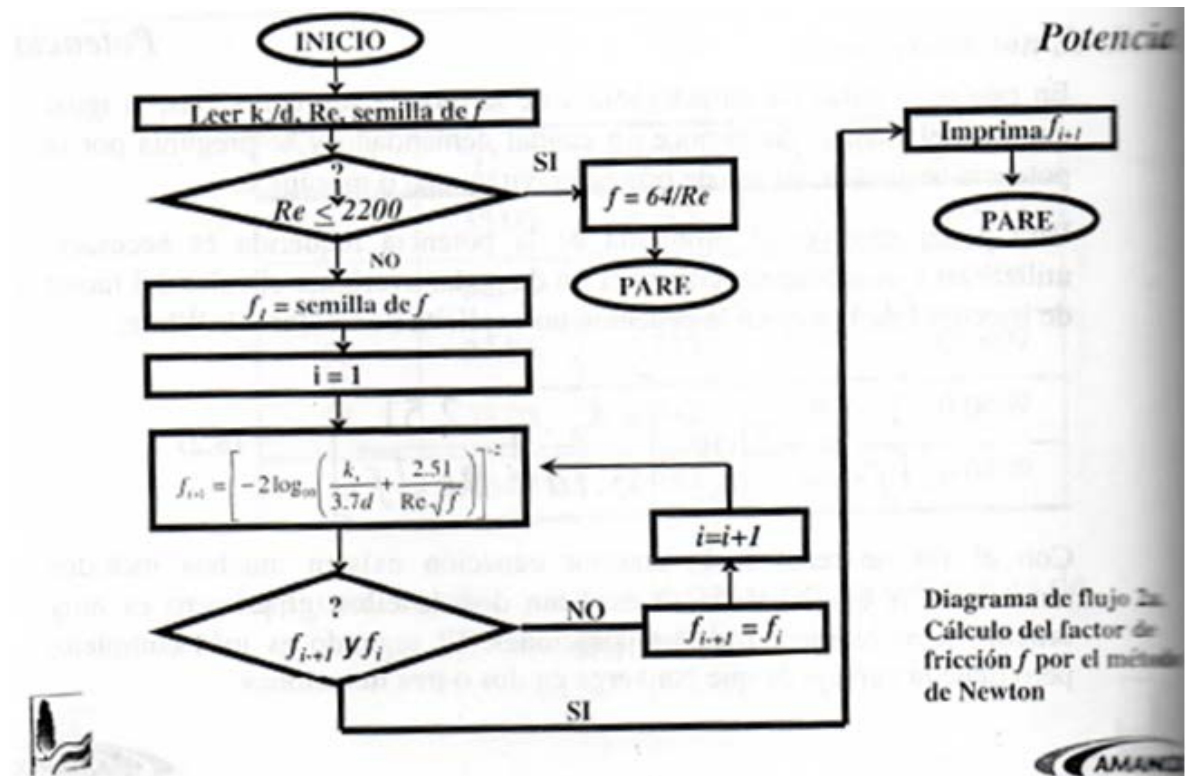
Anexo 4A. Tubería Presión PVC (PAVCO) 2008

NTC 382

	Diámetro Nominal		Referencia	Peso	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo		Diámetro Interior Promedio
	mm	pulg.			mm	pulg.	mm	pulg.	
RDE 9 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 500 PSI	21	1/2	12633	218	21.34	0.840	2.37	0.093	16.60
RDE 11 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 400 PSI	26	3/4	12560	304	26.67	1.050	2.43	0.095	21.81
RDE 13.5 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 315 PSI	21	1/2	12567	157	21.34	0.840	1.58	0.062	18.18
	33	1	12563	364	33.40	1.315	2.46	0.097	28.48
RDE 21 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 200 PSI	26	3/4	12592	189	26.67	1.050	1.52	0.060	23.63
	33	1	12571	252	33.40	1.315	1.60	0.063	30.20
	42	1.1/4	12577	395	42.16	1.660	2.01	0.079	38.14
	48	1.1/2	12574	514	48.26	1.900	2.29	0.090	43.68
	60	2	12582	811	60.32	2.375	2.87	0.113	54.58
	73	2.1/2	12585	1185	73.03	2.875	3.48	0.137	66.07
	88	3	12588	1761	88.90	3.500	4.24	0.167	80.42
	114	4	12596	2904	114.30	4.500	5.44	0.214	103.42
RDE 26 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 160 PSI	60	2	12607	655	60.32	2.375	2.31	0.091	55.70
	73	2.1/2	12609	964	73.03	2.875	2.79	0.110	67.45
	88	3	12613	1438	88.90	3.500	3.43	0.135	82.04
	114	4	12619	2376	114.30	4.500	4.39	0.173	105.52
RDE 32.5 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 125 PSI	88	3	12621	1157	88.90	3.500	2.74	0.108	83.42
	114	4	12624	1904	114.30	4.500	3.51	0.138	107.28
RDE 41 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 100 PSI	114	4	12628	1535	114.30	4.500	2.79	0.110	108.72
Para Tuberías de 6", 8", 10", 12", 14", 16", 18" y 20" de diámetro véase nuestro Manual Técnico Unión Platino. La longitud normal de los tramos es de 6mt. La Tubería no debe roscarse.									

ANEXO B. Memorias de cálculo

ANEXO 1B Diagrama de flujo para el cálculo de fricción con la fórmula de Colebrook-White f por el método de Newton.



En el caso del método de Newton, el método converge en 8 ó 10 iteraciones y es muy sensible al valor inicial de f (semilla supuesta = 0.001).

ANEXO 2B

DISEÑO DE LA RED DE CONDUCCIÓN DE AGUA A RECUPERAR

Datos conocidos

Tipo de fluido : agua 25°C

Material: Tubería PVC

$K_s=0.0015\text{mm}$

$\nu =0.897\text{E-}06 \text{ m}^2/\text{s}$

$g =9.81 \text{ m/s}^2$

Tramo (1–2): Tubería PVC que se encarga de recolectar el agua de los equipos destilación y evaporación con una longitud total de 12.70 m

Tramo (4–2): Tramo de tubería en PVC que se encarga de recolectar el agua de los equipos de purificación y extractor soxhlect con una longitud total de 5.70m

Tramo (2–3): Tramo de tubería en PVC, comprendido entre el punto de empalme de los dos ramales y el tanque de almacenamiento con una longitud de 20.00m

Cálculo del factor de fricción en el Tramo 1-2

$Q= 0.00046 \text{ m}^3/\text{s}$

Diámetro=0.01818m

Cálculo de la velocidad:

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

$V=(0.00046\text{m}^3/\text{s})/((\pi*(0.01818\text{m})^2)/4)$

$V=1.78 \text{ m/s}$

Cálculo del numero de Reynolds:

$$Re = \frac{V * d}{\nu}$$

$$Re = (1.78 \text{ m/s} * 0.01818 \text{ m}) / 0.897 \text{ E-}06 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = 36076$$

Cálculo del factor de fricción fórmula de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{Ks}{3.7d} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right]$$

Metodo de Newton

ε (mm)	0.0015	(Rugosidad)
D (mm)	18.18	(Diámetro interior de la tubería)
Re	36076	(Número de Reynolds)

Iteración	f	x	F (x)	f
1	0.0010	31.6228	5.3063	0.0355
2	0.0355	5.3063	6.8146	0.0215
3	0.0215	6.8146	6.6083	0.0229
4	0.0229	6.6083	6.6338	0.0227
5	0.0227	6.6338	6.6306	0.0227
6	0.0227	6.6306	6.6310	0.0227
7	0.0227	6.6310	6.6309	0.0227
8	0.0227	6.6309	6.6309	0.0227
9	0.0227	6.6309	6.6309	0.0227
10	0.0227	6.6309	6.6309	0.0227

Donde:

f = 0.001 (semilla de f supuesta)

$$x = \frac{1}{f}$$

$$F(x) = -2 \log_{10} \left[\frac{Ks}{3.7d} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right]$$

$$f_2 = (1/F(x))^2$$

El valor de f converge en 0.0227

$$f_{(1-2)} = 0.0227$$

Cálculo del factor de fricción en el Tramo 4-2

$$Q = 0.000078 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Diámetro} = 0.01818 \text{ m}$$

Para el tramo los cálculos fueron similares al anterior donde:

$$V = 0.30 \text{ m/s}$$

$$Re = 6080$$

Metodo de Newton

ε (mm)	0.0015	(Rugosidad)
D (mm)	18.18	(Diámetro interior de la tubería)
Re	6080	(Número de Reynolds)

Iteración	f1	x	F (x)	f2
.				
9	0.03547	5.310	5.310	0.0355
10	0.03547	5.310	5.310	0.0355

$$f_{(4-2)} = 0.0355$$

Cálculo del factor de fricción en el Tramo 2-3

$$Q = 0.00054 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Diámetro} = 0.02363 \text{ m}$$

$$V = 1.23 \text{ m/s}$$

$$Re=32402$$

Metodo de Newton

ε (mm)	0.0015	(Rugosidad)
D (mm)	23.63	(Diámetro interior de la tubería)
Re	32402	(Número de Reynolds)

Iteración	f1	x	F (x)	f2
.				
9	0.0233	6.552	6.552	0.0233
10	0.0233	6.552	6.552	0.0233

$$f_{(2-3)}=0.0233$$

Cálculo de pérdidas en la tubería por fricción

$$h_f = f \frac{LV^2}{d2g}$$

Tramo 1-2

$$f=0.0227$$

$$L=12.70m$$

$$V=1.78m/s$$

$$d=0.01818m$$

$$hf_{(1-2)}=0.0227*((12.70m*(1.78m/s)^2)/(0.01818m*2*9.81m/s)$$

$$hf_{(1-2)}=2.56m$$

Tramo 4-2

$$f=0.0355$$

$$L=5.70m$$

$$V=0.30/\text{s}$$

$$d=0.01818\text{m}$$

$$hf_{(4-2)}=0.0355*((5.70\text{m}*(0.30\text{m/s})^2)/(0.01818\text{m}^2*9.81\text{m/s}))$$

$$hf_{(4-2)}=0.05\text{m}$$

Tramo 2-3

$$f=0.0233$$

$$L=20.00\text{m}$$

$$V=1.23\text{m/s}$$

$$d=0.02363\text{m}$$

$$hf_{(2-3)}=0.0233*((20.0\text{m}*(1.23\text{m/s})^2)/(0.02363\text{m}^2*9.81\text{m/s}))$$

$$hf_{(2-3)}=1.52\text{m}$$

Cálculo de pérdidas menores por accesorios

$$hm = \left(\sum Km \right) \frac{V^2}{2g}$$

TRAMO 1-2

$$\Sigma Km \text{ TOTAL} = 7.60$$

$$V=1.78\text{m/s}$$

$$hm_{(1-2)}=7.60*((1.78\text{m/s})^2)/(2*9.81\text{m/s})$$

$$hm_{(1-2)}=1.23\text{m}$$

TRAMO 4-2

$$\Sigma Km \text{ TOTAL} = 5.80$$

$$V=0.30\text{m/s}$$

$$hm_{(4-2)}=5.80*((0.30\text{m/s})^2)/(2*9.81\text{m/s})$$

$$h_{m(4-2)}=0.03\text{m}$$

TRAMO 2-3

$$\Sigma K_m \text{ TOTAL} = 1.55$$

$$V=1.23\text{m/s}$$

$$h_{m(4-2)}=1.55*((1.23\text{m/s})^2)/(2*9.81\text{m/s})$$

$$h_{m(4-2)}=0.12\text{m}$$

Tabla resumen pérdidas totales en la tubería de la conducción de agua a recuperar.

TRAMO	Q	D		L	k _m	v	Reynolds	Factor de Fricción	h _f	h _m	h _{total}
	m ³ /s	pulg	m	m		m/s	R _e	f	m	m	m
Tramo 1-2	0.00046	1/2	0.01818	12.70	7.60	1.78	36076	0.0227	2.56	1.23	3.79
Tramo 4-2	7.8E-05	1/2	0.01818	5.70	5.80	0.30	6080	0.0335	0.05	0.03	0.08
Tramo 2-3	0.00054	3/4	0.02363	20.00	1.55	1.23	32402	0.0233	1.52	0.12	1.64

ANEXO 3B

CÁLCULO DE LA PRESIÓN REQUERIDA EN EL PUNTO DE ENTREGA

Datos conocidos:

Tipo de fluido : agua 25°C

Tubería HG

Diámetro=1/2"

Ks=0.15mm

$v = 0.897 \text{E-}06 \text{ m}^2/\text{s}$

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Se calcula la presión requerida para los puntos más críticos del sistema que es el destilador y el extractor que son los equipos que se encuentran más alejados con respecto al punto de entrega.

Tramo 4-5 Entre Destilador y Purificador

Tramo 5-3 Entre Evaporador y el punto de conexión donde entrega el sistema de bombeo a la red existente.

Cálculo del factor de fricción en el Tramo 4-5

$Q = 0.000175 \text{ m}^3/\text{s}$

Diámetro=0.0125m

Cálculo de la velocidad:

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

$V = (0.000175 \text{ m}^3/\text{s}) / ((\pi * (0.0125 \text{ m})^2) / 4)$

$V = 1.43 \text{ m/s}$

Cálculo del numero de Reynolds:

$$Re = \frac{V * d}{\nu}$$

$$Re = (1.43\text{m/s} * 0.0125\text{m}) / 0.897\text{E-}06 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = 19928$$

Cálculo del factor de fricción fórmula de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{Ks}{3.7d} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right]$$

Metodo de Newton

ε (mm)	0.15	(Rugosidad)
D (mm)	12.5	(Diámetro interior de la tubería)
Re	19928	(Número de Reynolds)

Iteración	f1	x	F (x)	f2
-	-	-	-	-
9	0.0429	4.8288	4.8288	0.0429
10	0.0429	4.8288	4.8288	0.0429

$$f_{(4-5)} = 0.0429$$

Cálculo del factor de fricción en el Tramo 5-3

$$Q = 0.000462 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Diámetro} = 0.0125 \text{ m}$$

$$V = 3.77 \text{ m/s}$$

$$Re = 52536$$

Metodo de Newton

ε (mm)	0.15	(Rugosidad)
D (mm)	12.5	(Diámetro interior de la tubería)
Re	52536	(Número de Reynolds)

Iteración	f1	x	F (x)	f2
-	-	-	-	-
9	0.0414	4.9173	4.9173	0.0414
10	0.0414	4.9173	4.9173	0.0414

$$f_{(5-3)}=0.0414$$

Cálculo de pérdidas en la tubería por fricción

$$h_f = f \frac{LV^2}{d2g}$$

Tramo 4-5

$$f=0.0429$$

$$L=3.17\text{m}$$

$$V=1.43\text{m/s}$$

$$d=0.0125\text{m}$$

$$hf_{(4-5)}=0.0429*((3.17\text{m}*(1.43\text{m/s})^2)/(0.0125\text{m}*2*9.81\text{m/s}))$$

$$hf_{(4-5)}=1.13\text{m}$$

Tramo 5-3

$$f=0.0414$$

$$L=8.41\text{m}$$

$$V=3.77\text{m/s}$$

$$d=0.0125\text{m}$$

$$h_{f(5-3)}=0.0414*((8.41\text{m}*(3.77\text{m/s})^2)/(0.0125\text{m}^2*9.81\text{m/s}))$$

$$h_{f(5-3)}=20.34\text{m}$$

Cálculo de pérdidas menores por accesorios

$$h_m = \left(\sum K_m \right) \frac{V^2}{2g}$$

TRAMO 4-5

$$\sum K_m \text{ TOTAL} = 1.20$$

$$V=1.43\text{m/s}$$

$$h_{m(4-5)}=1.2*((1.48\text{m/s})^2)/(2*9.81\text{m/s})$$

$$h_{m(4-5)}=0.125\text{m}$$

TRAMO 4-5

$$\sum K_m \text{ TOTAL} = 1.60$$

$$V=3.77\text{m/s}$$

$$h_{m(4-5)}=1.6*((3.77\text{m/s})^2)/(2*9.81\text{m/s})$$

$$h_{m(4-5)}=1.159\text{m}$$

Tabla resumen pérdidas totales en la tubería existente.

TRAMO	Q	D		L	k _m	v	Reynolds	Factor de Fricción	h _f	h _m	h _{total}
	m ³ /s	pulg	m	m		m/s	Re	f	M	m	m
Tramo 4-5	0.00018	1/2	0.0125	3.17	1.20	1.43	19928	0.0429	1.13	0.125	1.26
Tramo 5-3	0.00046	1/2	0.0125	8.41	1.60	3.77	52536	0.0414	20.18	1.159	21.34

Cálculo de la presión requerida para los tramos 4-5 y 5-3 (Tubería nueva PVC)

Tubería PVC

Diámetro interno= 18.18mm (1/2")

Tramo 4-5

$Q = 0.000175 \text{ m}^3/\text{s}$

Diámetro=0.01818m

$V = 0.67 \text{ m/s}$

$Re = 13579$

Metodo de Newton

ε (mm)	0.0015	(Rugosidad)
D (mm)	1818	(Diámetro interior de la tubería)
Re	13579	(Número de Reynolds)

Iteración	f1	x	F (x)	f2
-	-	-	-	-
9	0.0287	5.9062	5.9062	0.0287
10	0.0287	5.9062	5.9062	0.0287

$f_{(4-5)} = 0.0287$

Tramo 5-3

$Q = 0.000462 \text{ m}^3/\text{s}$

Diámetro=0.01818m

$V = 1.78 \text{ m/s}$

$Re = 36076$

Metodo de Newton

ε (mm)	0.0015	(Rugosidad)
D (mm)	1818	(Diámetro interior de la tubería)
Re	36076	(Número de Reynolds)

Iteración	f1	x	F (x)	f2
-	-	-	-	-
9	0.0227	6.6309	6.6309	0.0227
10	0.0227	6.6309	6.6309	0.0227

$$f_{(5-3)}=0.0227$$

Tabla resumen pérdidas totales en la tubería nueva de PVC.

TRAMO	Q	D		L	k_m	V	Reynolds	Factor de Fricción	h_f	h_m	h_{total}
	m ³ /s	pulg	m	m		m/s	R_e	f	m	m	m
Tramo 4-5	0.00018	1/2	0.01818	3.17	1.20	0.67	13579	0.0287	0.11	0.027	0.14
Tramo 5-3	0.00046	1/2	0.01818	8.41	1.60	1.78	36076	0.0227	1.70	0.258	1.96

Cálculo de la presión requerida para el tramo 6-3

Tramo 6-3 Entre Extractor y el punto de conexión donde entrega el sistema de bombeo a la red existente.

Datos conocidos:

Tipo de fluido : agua 25°C

Tubería HG

Diámetro=1/2"

$K_s=0.15\text{mm}$

$$v = 0.897\text{E-}06 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Tramo 6-3

$$Q = 0.000069 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Diámetro interno} = 0.0125 \text{ m}$$

$$V = 0.56 \text{ m/s}$$

$$Re = 7804$$

Metodo de Newton

ε (mm)	0.15	(Rugosidad)
D (mm)	12.5	(Diámetro interior de la tubería)
Re	67804	(Número de Reynolds)

Iteración	f1	x	F (x)	f2
-	-	-	-	-
9	0.0463	4.6487	4.6487	0.0463
10	0.0463	4.6487	4.6487	0.0463

$$f_{(6-3)} = 0.0463$$

Cálculo de pérdidas en la tubería por fricción

$$h_f = f \frac{LV^2}{d2g}$$

Tramo 6-3

$$f = 0.0463$$

$$L = 8.20 \text{ m}$$

$$V = 0.56 \text{ m/s}$$

$$d = 0.0125 \text{ m}$$

$$h_{f(6-3)} = 0.0463 * ((8.20 \text{ m} * (0.56 \text{ m/s})^2) / (0.0125 \text{ m} * 2 * 9.81 \text{ m/s}))$$

$$h_{f(6-3)} = 0.49 \text{ m}$$

Cálculo de pérdidas menores por accesorios

$$h_m = \left(\sum K_m \right) \frac{V^2}{2g}$$

TRAMO 6-3

$$\Sigma K_m \text{ TOTAL} = 2.45$$

$$V = 0.56 \text{ m/s}$$

$$h_{m(6-3)} = 2.45 * ((0.56 \text{ m/s})^2) / (2 * 9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$h_{m(6-3)} = 0.039 \text{ m}$$

Tabla resumen pérdidas totales en la tubería existente.

TRAMO	Q	D		L	k _m	v	Reynolds	Factor de Fricción	h _f	h _m	h _{total}
	m ³ /s	pulg	m	m		m/s	Re	f	m	m	m
Tramo 6-3	6.9E-05	1/2	0.0125	8.20	2.45	0.56	7804	0.0463	0.49	0.039	0.53

ANEXO 4B

CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA POR EL SISTEMA

Cálculo del factor de fricción en Succión e Impulsión

$$Q = 0.00053 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Diámetro} = 0.0302 \text{ m}$$

$$V = 0.74 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = 24914$$

Método de Newton

ε (mm)	0.15	(Rugosidad)
D (mm)	12.5	(Diámetro interior de la tubería)
Re	24914	(Número de Reynolds)

Iteración	f1	x	F (x)	f2
-	-	-	-	-
9	0.0247	6.3676	6.3676	0.0247
10	0.0247	6.3676	6.3676	0.0247

$$f = 0.0247$$

Cálculo de pérdidas en la tubería por fricción

$$h_f = f \frac{LV^2}{d2g}$$

Succión

$$f = 0.0247$$

$$L = 2.00 \text{ m}$$

$$V = 0.74 \text{ m/s}$$

$$d = 0.0302 \text{ m}$$

$$h_{f(\text{succión})} = 0.0247 * ((2.00 \text{ m} * (0.74 \text{ m/s})^2) / (0.0302 \text{ m} * 2 * 9.81 \text{ m/s}))$$

$$h_{f(\text{succión})} = 0.05 \text{ m}$$

Impulsión

$$f=0.0247$$

$$L=21.30$$

$$V=0.74\text{m/s}$$

$$d=0.0302\text{m}$$

$$h_{f(\text{impulsión})}=0.0247*((21.30*(0.74\text{m/s})^2)/(0.0302\text{m}^2*9.81\text{m/s}))$$

$$h_{f(\text{impulsión})}=0.49\text{m}$$

Cálculo de pérdidas menores por accesorios

$$h_m = \left(\sum K_m \right) \frac{V^2}{2g}$$

Succión

$$\Sigma K_m \text{ TOTAL} = 0.20$$

$$V=0.74\text{m/s}$$

$$h_{m(\text{succión})}=0.20*((0.74\text{m/s})^2)/(2*9.81\text{m/s})$$

$$h_{m(\text{succión})}=0.006\text{m}$$

Impulsión

$$\Sigma K_m \text{ TOTAL} = 4.95$$

$$h_{m(\text{impulsión})}=4.95*((0.74\text{m/s})^2)/(2*9.81\text{m/s})$$

$$h_{m(\text{impulsión})}=0.138\text{m}$$

Tabla resumen pérdidas totales en Succión e Impulsión

TRAMO	Q	D		L	k _m	v	Reynolds	Factor de Fricción	h _f	h _m	h _{total}
	m ³ /s	pulg	m	m	m	m/s	Re	f	m	m	m
Succión	0.00054	1	0.0302	2.00	0.20	0.75	24914	0.0247	0.05	0.006	0.056
Impulsión	0.00054	1	0.0302	21.30	4.95	0.75	24914	0.0247	0.49	0.138	0.628

ANEXO C. Ficheros de datos de entrada para el programa EPANET

Fichero de Red existente

[TITLE]

Simulación de la red existente

[JUNCTIONS]

;ID Nodo	Cota	Demanda	Curva de Modulac.
Destilador	0	0.175	3 ;
n2	0	0	;
n3	0	0	;
n4	0	0	;
n5	0	0	;
n7	0	0	;
Evaporador	0	0.287	2 ;
n1	0	0	;
Extractor	0	0.069	1 ;
n6	0	0	;

[PIPES]

;ID Línea	Nodo1	Nodo2	Longitud	Diámetro	Rugosidad	PérdMen	Estado
p3	Destilador	n2	0.67	12.5	0.15	0	Open ;
p4	n2	n3	2.5	12.5	0.15	1.2	Open ;
p6	n3	n4	6	12.5	0.15	1.6	Open ;
p8	n5	n6	3.59	12.5	0.15	0.9	Open ;
p5	n3	Evaporador	0.67	12.5	0.15	0	Open ;
p2	n2	n1	0.67	12.5	0.15	0	Open ;
p1	Entrada	n1	0.21	12.5	0.15	0	Open ;
p10	n7	Extractor	0.49	12.5	0.15	0.9	Open ;
p9	n6	n7	1.71	12.5	0.15	0	Open ;
p7	n4	n5	4.82	12.5	0.15	2	Open ;

[PATTERNS]

;ID Curva	Multiplicadores			
1	1	0	0	1
2	0	1	0	1
3	0	0	1	1

[TIMES]

Duration	3
Hydraulic Timestep	01:00
Quality Timestep	00:05
Pattern Timestep	01:00
Pattern Start	00:00
Report Timestep	01:00
Report Start	00:00
Start ClockTime	12:00 AM
Statistic	None

[COORDINATES]

;ID Nodo	Coord X	Coord Y
Destilador	245.2369427	141.2289722
n2	245.2369427	140.5589722
n3	242.7369427	140.5589722
n4	236.7369427	140.5589722
n5	236.7369427	145.3789722
n7	242.0369427	145.3789722
Evaporador	242.7369427	141.23
n1	245.9036129	140.5589722
Extractor	242.04	144.891883
n6	240.33	145.3799112
Entrada	245.8989351	140.3443099

[LABELS]

;Coord X	Coord Y	Rótulo y Nodo Anclaje
244.6998452	141.905503	DESTILADOR
241.9534913	141.874988	EVAPORADOR
241.7545801	144.558813	EXTRACTOR

[END]

Fichero de simulación del sistema de recirculación a implementar

[TITLE]

SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN

[JUNCTIONS]

;ID Nodo	Cota	Demanda	Curva de Modulac.
Purificador+	0	0.008	;
Purificador-	0	-0.008	;
N20	0	0	;
Destilador+	0	0.175	;
n2	0	0	;
n3	0	0	;
n8	0	0	;
n7	0	0	;
N11	0	0	;
N15	0	0	;
N17	0	0	;
N18	0	0	;
Destilador-	0	-0.175	;
Evaporador-	0	-0.287	;
n26	0	0	;
n27	0	0	;
Evaporador+	0	0.287	;
n1	0	0	;
Extractor+	0	0.069	;
Extractor-	0	-0.069	;
n6	0	0	;

[RESERVOIRS]

;ID Nodo	Altura	Curva modulac.
Entrada	14.5	;

[TANKS]

;ID Nodo	Cota	NivelIni	NivelMín	NivelMáx	Diámetro	VolMín	CurvCubic
Tanque	0	0	0	2	2.225	0	

[PIPES]

;ID Línea	Nodo1	Nodo2	Longitud	Diámetro	Rugosidad	PérdMen	Estado	
p12	n6	Purificador+	0.41	12.5	0.15	0	Open	;
p3	n2	Destilador+	0.67	18.18	0.0015	0	Open	;
p4	n2	n3	3.17	18.18	0.0015	0	Open	;
T8	N11	N20	1.737	18.18	0.0015	0	CV	;
p11	N15	Tanque	20	23.63	0.0015	0	Open	;
p14	N18	N17	2.6	18.18	0.0015	0	Open	;
p16	Evaporador-	N17	0.52	18.18	0.0015	0	CV	;
p21	n26	n27	21.3	30.2	0.0015	0	Open	;
p5	n3	Evaporador+	0.1	18.18	0.0015	0	Open	;
p2	n1	n2	1	18.18	0.0015	0	CV	;
p1	Entrada	n1	0.21	12.5	0.15	0	Open	;
T5	N20	N15	3.62	18.18	0.0015	0	Open	;
p10	n7	Extractor+	0.01	12.5	0.15	0	Open	;
T6	N11	Extractor-	0.34	18.18	0.0015	0	Open	;
p9	n6	n7	2.2	12.5	0.15	0	Open	;
p6	n8	n3	8.41	18.18	0.0015	0	Open	;
p7	n8	n6	6	12.5	0.15	0	Open	;
T1	N17	N15	10.1	18.18	0.0015	0	Open	;
T4	Purificador-	N20	0.08	18.18	0.0015	0	Open	;
T7	Destilador-	N18	0.52	18.18	0.0015	0	Open	;

[PUMPS]

;ID línea	NodoAsp	NodoImp	Parámetros	
Bomba	Tanque	n26	HEAD 1	SPEED 1 ;

[VALVES]

;ID línea	NodoA gArr	NodoA gAbj	Diám etro	Ti po PR	Consi gna	PérdMe n	
VRP	n27	n8	18.18	V	21	0	;

[STATUS]

;ID línea	Estado/Co nsigna
Bomba	Closed

[CURVES]

;ID Curva	Valor X	Valor Y
;PUMP:		
1	0	55
1	0.083	50
1	0.167	45.5
1	0.25	40.5
1	0.333	36
1	0.417	31
1	0.5	27
1	0.583	22
1	0.667	17
1	0.833	8

[CONTROLS]

LINK Bomba CLOSED AT CLOCKTIME 0 AM
 LINK Bomba OPEN AT CLOCKTIME 4.00 am
 LINK p1 CLOSED IF NODE Tanque ABOVE 1.87

[TIMES]

Duration	08:00
Hydraulic Timestep	01:00
Quality Timestep	00:05
Pattern Timestep	01:00
Pattern Start	00:00
Report Timestep	01:00
Report Start	00:00
Start ClockTime	12:00 AM
Statistic	None

[OPTIONS]

Units	LPS
Headloss	D-W
Specific Gravity	1
Viscosity	1
Trials	40

Accuracy	0.001
Unbalanced	Continue 10
Pattern	1
Demand Multiplier	1
Emitter Exponent	0.5
Quality	None mg/l
Diffusivity	1
Tolerance	0.01

[COORDINATES]

;ID Nodo	Coord X	Coord Y
Purificador+	240.3280951	144.9659747
Purificador-	239.9744545	144.9692259
N20	239.9744545	145.2289722
Destilador+	245.2369427	141.2289722
n2	245.2369427	140.5589722
n3	242.7369427	140.5589722
n8	236.7369427	142.9689722
n7	242.0369427	145.3789722
N11	241.7118244	145.2289722
N15	236.3554032	145.2289722
N17	242.3369427	140.7089722
N18	245	140.7089722
Destilador-	245	141.2289722
Evaporador-	242.3369427	141.2289722
n26	235.7902694	146.2328015
n27	235.7861817	142.97
Evaporador+	242.7369427	141.23
n1	245.9036129	140.5589722
Extractor+	00:51	144.895007
Extractor-	17:02	144.89
n6	07:55	145.3799112
Entrada	21:36	140.1853274
Tanque	18:57	147.2433463

[VERTICES]

;ID Línea	Coord X	Coord Y
p11	236.358033	147.2438262

p6	236.7363677	140.5465363
p7	236.735533	145.3818474
T1	236.3543149	140.7083528

[LABELS]

;Coord X	Coord Y	Rótulo y Nodo Anclaje
----------	---------	-----------------------

[BACKDROP]

DIMENSIONS	235.28	140	246.41	147.59
------------	--------	-----	--------	--------

UNITS	None
-------	------

FILE

OFFSET	0	0
--------	---	---

[END]

ANEXO D. Cantidades de obra y presupuestos

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
1.0	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS				
1.0	Tubería pvc presión de 1" rde 21	m	20	\$ 12,041	\$ 240,820.00
1.1	Tubería pvc presión de 3/4" rde 21	m	19	\$ 8,458	\$ 160,702.00
1.2	Tubería pvc presión de 1/2" rde 13,5	m	10	\$ 8,408	\$ 84,080.00
1.3	Válvula de paso red white ø 1"	Un	2	\$ 75,034	\$ 150,068.00
1.4	Válvula de paso red white ø 3/4"	Un	2	\$ 70,150	\$ 140,300.00
1.5	Válvula de paso red white ø 1/2"	Un	3	\$ 67,232	\$ 201,696.00
1.6	Válvula de cheque de ø 1"	Un	1	\$ 55,100	\$ 55,100.00
1.7	Válvula de cheque de ø 3/4"	Un	3	\$ 40,100	\$ 120,300.00
1.8	Válvula de cheque de ø 1/2"	Un	4	\$ 27,550	\$ 110,200.00
1.9	Reducción pvc, ø1" x ø3/4"	Un	1	\$ 4,500	\$ 4,500.00
1.10	Reducción pvc, 3/4" x ø1/ 2"	Un	1	\$ 4,100	\$ 4,100.00
1.11	Válvula solenoide para agua 110v	Un	1	\$ 312,040	\$ 312,040.00
1.12	Unión universal presión pvc, ø1/ 2"	Un	1	\$ 800	\$ 800.00
1.13	Anclajes para tubería colgada	Un	10	\$ 1000	\$ 1000.00
				SUBTOTAL	\$1,594,706.00
2.0	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS, ACCESORIOS, SISTEMA DE BOMBEO				
2.1	Sistema de presión (incluye tanque hidroneumático de 200L e instalación)	Un	1	\$1,200,000	\$1,200,000.00
2.2	Tanque de almacenamiento plástico, capacidad 500 litros (incluye flotador)	Un	1	\$215,865	\$ 215,865.00
2.3	Válvula de control de presión pvc, ø1"	Un	1	\$166,750	\$ 166,750.00
				SUBTOTAL	\$1,582,615.00

3.0	CONCRETO PARA CUARTO DE BOMBEO	UNID	CANT	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
3.1	Placa maciza en concreto de 3000 psi, f'c=21 mpa, e=0.10m	m³	13.7	\$ 68,122.00	\$ 935,315.06
3.2	Columna de amarre en concreto de 3.000 psi de 0,12 x 0,20 m, incluye refuerzo	m	12	\$ 61,227.00	\$ 734,724.00
3.3	Muro en ladrillo farol pandereta e=0.,10m	m2	31.8	\$ 26,386.00	\$ 839,866.38
3.4	Vigas de amarre en concreto de 3000 psi, f'c=21 mpa, de 15cm x 20 cm, incluye refuerzo	m	6.5	\$ 50,120.00	\$ 326,782.40
3.5	Puerta en lámina c 20 1,50 x 2,50 m (2 naves), incluye anticorrosivo, pintura, chapa, manija y tope	Un	1	\$592,816.00	\$ 592,816.00
3.6	Placa maciza en concreto de 3000 psi, f'c=21 mpa, e=0.20m (para bloque apoyo de tanque plastico)	m2	2.3	\$110,849.00	\$ 249,410.00
3.7	Placa maciza en concreto de 3000 psi, f'c=21 mpa, e=0.20m (para bloque de apoyo de la bomba)	m2	0.6	\$110,849.00	\$ 66,509.00
				SUBTOTAL	\$3,745,422.84

TOTAL COSTO DIRECTO				\$ 6,922,744
A.I.U.	25%			\$ 1,730,686
PRESUPUESTO TOTAL				\$ 8,653,430

Nota: los precios unitarios fueron tomados de la lista de referencia de la Gobernación de Risaralda

ANEXO E. Planos